



**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS**

MARIANA GUEDES GUIMARÃES

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE ESCÓRIA DE SIDERURGIA NO
DESENVOLVIMENTO DO CAPIM BRS Zuri E NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO
SOLO**

Niterói-RJ
2019

MARIANA GUEDES GUIMARÃES

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE ESCÓRIA DE SIDERURGIA NO
DESENVOLVIMENTO DO CAPIM BRS Zuri E NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO
SOLO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Biosistemas da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Biosistemas. Área de concentração Recursos Naturais e Ambiente. Linha de Pesquisa: Sistemas Agropecuários.

Orientador: Dr. Guilherme Kangussú Donagemma

Niterói, RJ
2019

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

G963e Guimarães, MARIANA GUEDES
EFEITOS DA APLICAÇÃO DE ESCÓRIA DE SIDERURGIA NO
DESENVOLVIMENTO DO CAPIM BRS Zuri E NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO
SOLO / MARIANA GUEDES Guimarães ; Guilherme Kangussú
Donagemma, orientador ; Eliane de Paula Clemente,
coorientadora. Niterói, 2019.
66 f.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,
Niterói, 2019.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PGEB.2019.m.15045314777>

1. Resíduos sólidos de siderúrgica aplicados na
agricultura. 2. Fertilidade do solo. 3. Correções de acidez e
fertilidade dos solos. 4. Crescimento de gramíneas. 5.
Produção intelectual. I. Donagemma, Guilherme Kangussú,
orientador. II. Clemente, Eliane de Paula, coorientadora. III.
Universidade Federal Fluminense. Escola de Engenharia. IV.
Título.

CDD -

Bibliotecária responsável: Fabiana Menezes Santos da Silva - CRB7/5274

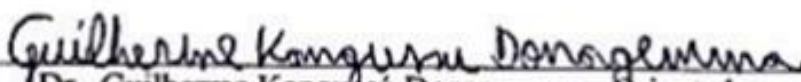
MARIANA GUEDES GUIMARÃES

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE ESCÓRIA DE SIDERURGIA NO
DESENVOLVIMENTO DO CAPIM BRS Zuri E NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO
SOLO**

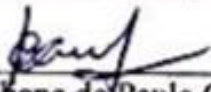
Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Biosistemas da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Biosistemas. Área de concentração Recursos Naturais e Ambiente. Linha de Pesquisa: Sistemas Agropecuários.

Aprovada em 29 de agosto de 2019.

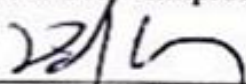
BANCA EXAMINADORA



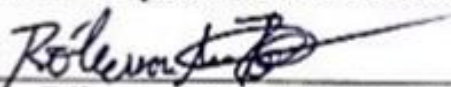
Dr. Guilherme Kangussú Donagemma - Orientador
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária



Drª. Eliane de Paula Clemente Almeida – Coorientadora
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária



Dr. David Vilas Boas de Campos
EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária



Prof. Dr. Róberson Machado Pimentel
UFF- Universidade Federal Fluminense

*Dedico aos meus pais,
Luciana e Cláudio,
por todo apoio e incentivo.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por se manifestar das formas mais sutis e mostrar que a conquista de desafios é feita de luta e boas companhias.

Aos meus pais e minha irmã, que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que chegasse até essa etapa.

Em especial ao meu orientador, professor Dr. Guilherme Kangussú Donagemma, pelos tantos ensinamentos e oportunidades, pela orientação e confiança para a implantação desse trabalho.

Aos pesquisadores Silvio Tavares, Eliane Clemente, Paulo César Teixeira, Rosângela Straliotto e a professora Raquel Donagemma pelo suporte na condução do experimento, laboratório e revisões.

As amigas Natália Fernandes e Maria Fernanda Pontes pelo companheirismo e positividade no dia a dia. Encontrar pessoas como vocês deixou a caminhada mais leve e mais prazerosa.

Agradeço ao Willian pela ajuda na execução das análises estatísticas.

Aos colegas Haydana, Rafaella, Ramonn, Tainá, Lilian e Luan pela amizade e a disposição em sempre ajudar.

Aos membros das bancas examinadoras de qualificação e defesa pelas críticas, elogios e sugestões que muito contribuíram para esta versão final.

RESUMO

A escória de siderurgia, considerada um passivo ambiental, apresenta-se como uma alternativa viável ao uso do calcário como corretivo de acidez do solo, uma vez que possui compostos neutralizantes da acidez do solo ($\text{CaSiO}_3/\text{MgSiO}_3$) e elementos químicos importantes para a nutrição das plantas. Assim, o trabalho foi conduzido com o objetivo avaliar o potencial de produtos à base de escórias de siderurgia, comercializados como Agrosilício Plus e Agrosilício Mg, quanto à eficiência na correção da acidez do solo, bem como o efeito deste como fertilizante multinutriente sobre a produtividade da gramínea forrageira *Panicum maximum* cv. BRS Zuri. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ. O solo é um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico textura argilosa. O solo foi coletado na camada de 0-20 cm, destorroado, seco ao ar e passado em peneira de 2,00 mm. O experimento foi realizado em vasos plásticos, com 5 kg de solo, durante 120 dias. O calcário e o Agrosilício Plus não diferiram quanto a produtividade do capim BRS Zuri. O aumento das doses aplicadas proporcionou melhoria nos atributos químicos do solo, elevando os valores de pH e aumentando os teores de Ca e Mg, além da diminuição da acidez potencial. Além disso, o corretivo silicatado elevou no tecido foliar o teor de Mg^{+2} em relação aos tratamentos com calcário, indicando que ele pode substituir calcário na correção do solo e no fornecimento que cálcio e magnésio. O Agrosilício Mg proporcionou o equilíbrio nutricional e garantiu os teores de nutrientes dentro da faixa adequada para a cultura. Para ambos os corretivos, verificou-se incremento nos teores dos nutrientes e acúmulo na parte aérea do capim BRS Zuri. Isso indica que o Agrosilício Plus pode substituir calcário na correção do solo e no fornecimento de cálcio e magnésio e o Agrosilício Mg apresenta potencial uso como fertilizante multinutriente para o capim BRS Zuri.

Palavras-chave: Agrosilício; Macronutriente; Micronutriente; Corretivo de acidez.

ABSTRACT

Steel slag, considered an environmental liability, is a viable alternative to the use of limestone as a soil acidity corrector, as it has soil acid neutralizing compounds (CaSiO_3 / MgSiO_3) and important chemical elements for nutrition. of plants. Thus, the work was conducted with the objective of evaluating the potential of steel slag-based products, sold as Agrosilício Plus and Agrosilício Mg, regarding the efficiency in soil acidity correction, as well as the effect of this as a multnutrient fertilizer on productivity. of forage grass *Panicum maximum* cv. BRS Zuri. The experiment was conducted in a greenhouse at Fluminense Federal University, Niterói-RJ. The soil is a dystrophic Red Yellow Latosol clay texture. The soil was collected in the 0-20 cm layer, broken up, air dried and passed through a 2,00 mm sieve. The experiment was carried out in plastic pots with 5 kg of soil for 120 days. Limestone and Agrosilicon Plus did not differ in yield of BRS Zuri grass. The increase of the applied doses provided improvement in the chemical attributes of the soil, increasing the pH values and increasing the Ca and Mg contents, besides the reduction of the potential acidity. In addition, the silicate concealer increased Mg^{+2} content in leaf tissue in relation to lime treatments, indicating that it can replace lime in soil correction and calcium and magnesium supply. Agrosilicon Mg provided the nutritional balance and guaranteed the nutrient content within the appropriate range for the crop. For both correctives, there was an increase in nutrient content and accumulation in the shoots of BRS Zuri grass. This indicates that Agrosilício Plus can replace lime in soil correction and calcium and magnesium supply and Agrosilício Mg has potential use as a multnutrient fertilizer for BRS Zuri grass.

Keywords: Agrosilicon; Macronurient; Micronutrient; Correction of acidity.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL, p.14

2. CAPÍTULO I, p.16

2.2 Introdução, p.18

2.3 Material e métodos, p.22

2.4 Resultados e discussão, p.26

2.5 Conclusão, p.39

3. CAPÍTULO II, p.40

3.2 Introdução, p.42

3.3 Material e métodos, p.43

3.4 Resultados e discussão, p.47

3.5 Conclusão, p.53

4. RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS, p.54

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS, p.55

6. APÊNDICE, p.63

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Caracterização química do solo antes da instalação do experimento. f. 22.

TABELA 2: Composição química do produto comercial Agrosilício Plus, f. 23.

TABELA 3: Tratamentos resultantes do delineamento experimental, f. 23.

TABELA 4: Características químicas do solo após a incubação de amostras de solo por 30 dias em função de fontes, doses e formas de aplicação de corretivos, f. 26.

TABELA 5: Produção de matéria seca (PMS) da parte aérea do capim BRS Zuri, em resposta aos diferentes tratamentos (1º ciclo e 2º ciclo), f. 28.

TABELA 6: Desdobramento da interação Calcário e Agrosilício Plus X produção de matéria seca (PMS) (1º ciclo e 2º ciclo), f. 29.

TABELA 7: Teores médios de macronutrientes na parte aérea da planta em função dos materiais corretivos no solo, aplicação da fonte e dosagem (1º ciclo), f. 30.

TABELA 8: Teores médios de macronutrientes na parte aérea da planta em função dos materiais corretivos no solo, aplicação da fonte e dosagem (2º ciclo), f. 33.

TABELA 9: Acúmulo de N, P e K na parte aérea da planta em função dos materiais corretivos no solo, aplicação da fonte e dosagem (1º ciclo e 2º ciclo), f. 35.

TABELA 10: Acúmulo de Ca e Mg na parte aérea da planta em função dos materiais corretivos no solo, aplicação da fonte e dosagem (1º ciclo e 2º ciclo), f. 36.

TABELA 11: Teores médios de micronutrientes na parte aérea da planta em função dos materiais corretivos no solo, aplicação da fonte e dosagem (1º ciclo), f. 37.

TABELA 12: Teores médios de micronutrientes na parte aérea da planta em função dos materiais corretivos no solo, aplicação da fonte e dosagem (2º ciclo), f. 38.

TABELA 13: Composição química do produto comercial Agrosilício Mg, f. 45.

TABELA 14: Produção de matéria seca da parte aérea do capim BRS Zuri (1º ciclo e 2º ciclo), f. 47.

TABELA 15: Teores médios dos nutrientes da parte aérea da planta em função do aumento da dose do Agrosilício Mg (1º ciclo e 2º ciclo), f. 49.

TABELA 16: Acúmulo dos nutrientes da parte aérea da planta em função do aumento da dose do Agrosilício Mg (1º ciclo e 2º ciclo), f. 51.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Fig. 1 Condução do experimento. Incorporação do corretivo no solo (A), amostragem de solo, após o período de incubação (B), seguido da semeadura (C), f. 24.
- Fig. 2 Efeito das doses de calcário e Agrosilício Plus, e forma de incorporação, sobre o teor de Ca na parte aérea das plantas (1º ciclo), f. 31.
- Fig. 3 Efeito das doses de calcário e Agrosilício Plus, e forma de incorporação, sobre o teor de Mg na parte aérea das plantas (1º ciclo), f. 32.
- Fig. 4 Efeito das doses de calcário e Agrosilício Plus, e forma de incorporação, sobre o teor de Ca e Mg na parte aérea das plantas (2º ciclo), f. 34.
- Fig. 5 Pesagem da matéria seca (A). Material vegetal sendo moído (B), f. 46.
- Fig. 6 Efeito das doses do Agrosilício Mg sobre o teor dos macronutrientes Ca e Mg na parte aérea das plantas, f. 50.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

pH potencial hidrogeniônico

SB soma de bases

PN poder neutralizante

MO matéria orgânica

MS matéria seca

PMS produção de matéria seca

H+Al acidez potencial

IBRA Instituto Brasileiro de Análises

MAPA Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

1. INTRODUÇÃO GERAL

As atividades agrícolas possuem enorme desafio para os próximos anos. As projeções apontam que a humanidade atingirá 9 bilhões de pessoas em 2050. Para superar essa adversidade é necessário aumentar a produção de alimentos, com segurança, qualidade e uso sustentável da base de recursos naturais, de modo a minimizar os impactos ambientais gerados e buscar por inovações na agropecuária. O problema fundamental é atender as demandas crescentes utilizando os recursos naturais finitos de forma inteligente (Lopes e Contini, 2012).

O conceito de sustentabilidade abrange questões no âmbito social, energético, econômico e ambiental, de modo que a exploração dos recursos naturais para a satisfação de necessidades presentes não pode comprometer as gerações futuras. As pastagens constituem a base dos sistemas agropecuários, o que evidencia sua importância e a necessidade de se buscarem práticas de manejo que resultem em maior eficiência desses sistemas (Santana et al., 2010). Assim sendo, a busca por forrageiras mais sustentáveis implica no melhoramento e desenvolvimento de cultivares mais produtivas e de melhor valor nutritivo, que resultem em maior retorno por área (Jank et al., 2017).

De acordo com Lopes e Contini (2012), a produção agropecuária do Brasil deverá orientar-se, progressivamente, de acordo com uma visão moderna e sustentável de expansão da capacidade produtiva do país. Embora com grande destaque no cenário nacional, a produtividade média da pecuária brasileira ainda está muito aquém do seu potencial. Várias causas podem ser apontadas para essa baixa produtividade, como desconhecimento e não-adoção de tecnologias disponíveis, formação e manejo inadequado das pastagens, ausências da prática de correção e adubação do solo, escolha inadequada da espécie forrageira, o que contribui para a degradação das pastagens (Santos, 2010).

O manejo correto das pastagens é fundamental para se alcançar o sucesso na produtividade e garantir a sustentabilidade do sistema de produção. A cultura quando bem manejada atua como dreno de carbono no solo, protegendo o solo e diminuindo o risco de erosão, além de aumentar a atividade biológica do solo e fornecer alimento. Santana et al. (2010) afirmam que uma das práticas ainda pouco utilizadas é a calagem, que além de corrigir o pH, fornece às plantas bases trocáveis essenciais para o seu desenvolvimento, sendo uma etapa primordial para o sucesso na agricultura.

A maioria dos solos agricultáveis brasileiros originalmente possuem pH menor que 5,5, o que contribui para a baixa produtividade. Para aumentar a produção de forragem é necessária a correção da acidez do solo e adubação adequada, de modo que eleve o pH e diminua a acidez

potencial (H+Al). Consequentemente, aumenta a atividade microbiana no solo, fornece os nutrientes em concentrações adequadas à planta, o que reflete no adequado desenvolvimento radicular e da parte aérea das plantas (Freire et al., 2013).

No Brasil, o produto mais utilizado para a correção da acidez no solo é o calcário. No entanto, existem outros materiais corretivos, como os resíduos siderúrgicos que possuem a mesma finalidade e tem-se mostrado uma alternativa viável, destacando-se os materiais a base de escória de siderurgia (Melo e Sartori, 2013). Grande parte deste resíduo acumula-se no pátio das siderúrgicas sem um uso específico, portanto, a utilização deste material na agricultura contribui de modo a minimizar o passivo ambiental gerado pela estocagem de escória nos pátios das indústrias produtoras de ferro e aço.

O grande interesse do setor agropecuário é a utilização das escórias como corretivo de acidez do solo e como fonte de cálcio e magnésio para as plantas, em substituição ou como complemento ao calcário, especialmente para solos de baixa fertilidade. Seus componentes neutralizantes são os silicatos de cálcio e magnésio, que além de corrigir o pH do solo, fornece a cultura nutrientes essenciais para o seu desenvolvimento. (Fortes *apud* Stocco *et al.*, 2010).

Ainda são escassas as pesquisas desenvolvidas nessa área, principalmente, para aplicação em pastagens. Entretanto, tem crescido o interesse das empresas, uma vez que o país possui um grande potencial e este produto encontra-se em abundância nos pátios das indústrias de aço. O correto gerenciamento dos resíduos pode ser benéfico tanto para as organizações quanto para o meio ambiente.

O Brasil possui vários biomas e um grande número de forrageiras tropicais. As plantas possuem diferenças agronômicas, morfológicas e fisiológicas, cada espécie de forrageiras possui características particulares. Nesse sentido, a cultivar BRS Zuri destaca-se como gramínea de alto potencial produtivo. Foi lançada pela Embrapa em 2014, após anos de avaliação e seleção massal em populações derivadas de *Panicum maximum* coletadas na Tanzânia, no leste da África. O nome Zuri significa ‘bom’ e ‘bonito’ em *swahili*, a língua falada no Quênia. A cultivar foi selecionada com base na produtividade, vigor, capacidade de suporte, capacidade de rebrota, desempenho animal, resistência às cigarrinhas-das-pastagens e à mancha foliar causada pelo fungo *Bipolaris maydis* (Embrapa, 2014).

Em função disso, tem-se a necessidade de ampliar os estudos sobre a aplicação desses materiais corretivos e realizar uma avaliação mais ampla desse produto sob variadas condições de solo, clima e sistemas de produção e ainda realizar ações de transferência de tecnologia para técnicos e agricultores para que se possa desmistificar sua utilização e aumentar a demanda de consumo por produtores rurais.

CAPÍTULO I

ALTERAÇÕES NO SISTEMA SOLO-PLANTA EM RESPOSTA A DIFERENTES FONTES DE MATERIAL CORRETIVO DE ACIDEZ DO SOLO

RESUMO: A escória de siderurgia, considerada um passivo ambiental, apresenta-se como uma alternativa viável ao uso do calcário como corretivo de acidez do solo, uma vez que possui compostos neutralizantes da acidez do solo ($\text{CaSiO}_3/\text{MgSiO}_3$) e elementos químicos importantes para a nutrição das plantas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial agrícola do produto à base de escórias de siderurgia, comercializado como Agrosilício Plus, quanto à eficiência na correção da acidez do solo, em comparação ao calcário dolomítico sobre a produtividade e composição nutricional da gramínea forrageira *Panicum maximum* cv. BRS Zuri. Além de avaliar as alterações nos atributos químicos do solo. O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições e em esquema fatorial $2 \times 2 \times 4 + 1$ sendo duas fontes de corretivo (Calcário e Agrosilício Plus), duas formas de aplicação do corretivo (incorporado e superfície), quatro doses (25, 50, 100 e 150 %) e um tratamento controle. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ. O solo é um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico textura argilosa, coletado na fazenda experimental da Embrapa Gado de Leite em Coronel Pacheco, MG. O solo foi coletado na camada de 0-20 cm, destorroado, seco ao ar e passado em peneira de 2,00 mm. O experimento foi realizado em vasos plásticos, com 5 kg de solo, durante 120 dias. O calcário e o Agrosilício Plus não diferiram quanto a produtividade do capim BRS Zuri. A maior produção de matéria seca foi observada no 2º ciclo do experimento. O aumento das doses aplicadas proporcionou melhoria nos atributos químicos do solo, elevando os valores de pH e aumentando os teores de Ca e Mg, além da diminuição da acidez potencial. Para ambos os corretivos, verificou-se incremento nos teores dos nutrientes e acúmulo na parte aérea do capim BRS Zuri. Isso indica que o Agrosilício Plus pode substituir calcário na correção do solo e no fornecimento de cálcio e magnésio.

Palavras-chave: Escória de siderurgia; Solo; Fertilidade do solo; Corretivo de acidez.

ABSTRACT: Steel slag, considered an environmental liability, presents itself as a viable alternative to the use of limestone as soil acidity corrective, since it has soil acid neutralizing compounds (CaSiO_3 / MgSiO_3) and important chemical elements for plant nutrition. The objective of the present work was to evaluate the agricultural potential of the steel slag-based product, marketed as Agrosilício Plus, regarding the efficiency of soil acidity correction, compared to dolomitic limestone on the yield and nutritional composition of the forage grass *Panicum maximum*. cv. BRS Zuri. In addition to assessing the changes in soil chemical attributes The experiment was carried out in a randomized block design with four replications and in a $2 \times 2 \times 4 + 1$ factorial scheme with two concealer sources (Limestone and Agrosilicon Plus), two forms of concealer application (embedded and surface), four doses. (25, 50, 100 and 150%) and a control treatment. The experiment was conducted in a greenhouse at Fluminense Federal University, Niterói-RJ. The soil is a clayey dystrophic Red Yellow Latosol, collected at the experimental farm of Embrapa Gado de Leite in Coronel Pacheco, MG. The soil was collected in the 0-20 cm layer, broken up, air dried and passed through a 2,00 mm sieve. The experiment was carried out in plastic pots with 5 kg of soil for 120 days. Limestone and Agrosilicon Plus did not differ in yield of BRS Zuri grass. The highest dry matter production was observed in the 2nd cycle of the experiment. The increase of the applied doses provided improvement in the chemical attributes of the soil, increasing the pH values and increasing the Ca and Mg contents, besides the reduction of the potential acidity. For both correctives, there was an increase in nutrient content and accumulation in the shoots of BRS Zuri grass. This indicates that Agrosilicon Plus can replace limestone in soil correction and calcium and magnesium supply.

Keywords: Steel slag; Soil; Soil fertility; Correction of acidity.

ALTERAÇÕES NO SISTEMA SOLO-PLANTA EM RESPOSTA A DIFERENTES FONTES DE MATERIAL CORRETIVO DE ACIDEZ DO SOLO

2.2 Introdução

Um dos grandes desafios nos sistemas de produção é a busca por forrageiras mais sustentáveis, mediante o uso de estratégias capazes de aumentar a produtividade e qualidade nutricional das espécies, o que implica no melhoramento e desenvolvimento de cultivares que resultem em maior retorno por área (Jank et al., 2017). As forrageiras devem ser adaptadas aos diversos fatores ambientais e mais eficientes no aproveitamento dos recursos naturais como nutrientes do solo e água.

A Embrapa vem desenvolvendo desde a década de 1980, o programa de melhoramento genético de gramíneas forrageiras tropicais e de clima temperado, visando aumento de produtividade, valor nutritivo, o que em forrageiras se traduz em aumento das porcentagens de proteína e à redução da vulnerabilidade dos sistemas de produção (Almeida et al., 2011), contribuindo assim, para a diversificação das pastagens brasileiras. Outros objetivos dos programas de melhoramento são a resistência a estresses bióticos e abióticos.

Dentre as forrageiras lançadas pelo programa, destacam-se as gramíneas tropicais pertencentes ao gênero *Panicum*, melhoradas com potencial de resposta ao manejo intensivo, cujos cultivares apresentam ampla adaptação às diferentes condições edafoclimáticas e características importantes, tais como, alta tolerância ao pisoteio, alta produção de biomassa, bom valor nutricional e elevada resposta aos fatores de produção (Lopes et al., 2011).

Os efeitos benéficos da correção do solo com silicatos sobre várias espécies de plantas são conhecidos, contudo, poucos trabalhos têm sido realizados com o intuito de avaliar a aplicação superficial e incorporada de silicato de cálcio e magnésio (Agrosilício), enfocando a exigência nutricional e a exportação de macro e micronutrientes, especialmente nas variedades mais modernas, as quais sofreram melhoramento genético.

A acidez do solo é um dos principais fatores que limitam a produção agrícola no Brasil. Os solos podem ser naturalmente ácidos devido à carência de bases no material de origem, por condições de pedogênese, solos de acidez induzida que sofreram erosão, extração de cátions pelas culturas, adição de fertilizantes acidificados e por causa da lixiviação das bases trocáveis do solo (Raij, 2011).

A maioria dos solos agricultáveis brasileiros, originalmente, possuem potencial hidrogeniônico (pH) menor que 5,5, o que contribui para a baixa produtividade. Em geral, os solos que se encontram nas zonas de clima tropical são ácidos devido à lixiviação das bases

trocáveis, oriundo dos altos índices de pluviosidade (Malavolta, 2006), que resultam em maiores teores de hidrogênio e alumínio no complexo de troca do solo e ausência dos minerais primários e secundários, responsáveis pela reposição dessas bases (Santana et al., 2010).

Em muitas áreas do mundo, a acidez do solo é limitante para a produtividade agrícola. No Brasil, cerca de 70% de todas as terras agrícolas consistem em solos ácidos (Moreira, 2017). O processo de acidificação do solo inicia-se com a solubilização da rocha, com posterior perda de bases trocáveis do solo associada à retenção preferencial de cátions de maior valência, como o alumínio (Al), nos sítios de troca das argilas, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e da matéria orgânica (Meurer et al., 2012).

Para aumentar a produtividade das culturas, faz-se necessário a aplicação de corretivos para elevar o pH do solo, diminuir a acidez potencial ($H+Al$), consequentemente elevando a disponibilidade de nutrientes e aumentando as cargas utilizadas nos processos de troca iônica para as plantas e o valor da CTC efetiva. Contribuindo de forma significativa para o aumento da produtividade das gramíneas forrageiras em virtude de melhoria nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Ronquim, 2010; Guimarães Júnior et al., 2013). Geralmente os materiais empregados como corretivos de acidez do solo são óxidos, hidróxidos, escórias e carbonatos de Ca e Mg (Malavolta, 1980).

Em condições de acidez elevada (baixos valores de pH) geralmente, podem ocorrer teores de alumínio (Al) e manganês (Mn) em níveis tóxicos, associados às deficiências de macronutrientes como cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e potássio (K), e como consequência, redução da produtividade das plantas cultivadas, pois, a deficiência de Ca e a toxidez de Al são as principais limitações químicas para o crescimento radicular, prejudicando a absorção de água e nutrientes pelas plantas (Meurer et al., 2012). Além disso, os solos ácidos apresentam alta fixação de fósforo nos colóides do solo e deficiência de alguns micronutrientes (Ronquim, 2010). Sendo assim, a prática da calagem torna-se imprescindível no manejo da fertilidade do solo.

Além do calcário, outros produtos podem ser utilizados na correção da acidez do solo. Dentre as fontes com potencial, existem as escórias, que são subprodutos das indústrias siderúrgicas, que possuem como componente neutralizante o silicato de cálcio ($CaSiO_3$) e/ou o silicato de magnésio ($MgSiO_3$) (Moreira, 2017).

No Brasil, a produção de aço bruto no ano de 2017 foi de 34,4 milhões de toneladas, o que representou crescimento de 9,8% em comparação com o ano anterior. Cada tonelada de aço produzido gerou 607 quilos de coprodutos e resíduos, dos quais 86% foram reaproveitados, 9% estocados e 5% destinados para a disposição final. A geração de escória de aciaria totalizou

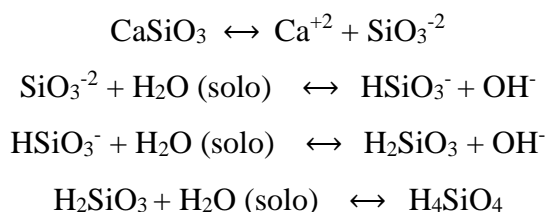
27% do total de coprodutos gerados. O Estado de Minas Gerais é o maior produtor nacional de Aço Bruto, responsável por mais da metade de toda a produção no Brasil (Instituto Aço Brasil, 2018)

A utilização de resíduos industriais na agricultura contribui para a redução dos custos de produção, minimiza os impactos ambientais gerados pela estocagem desse material, atua na transformação de um potencial passivo em ativo ambiental e ainda tornar-se fonte de renda para a indústria siderúrgica.

No Brasil, o calcário é o material mais utilizado como corretivo de acidez do solo (Embrapa, 2011). No entanto, as escórias de siderurgia podem ser consideradas importantes opções de correção de acidez do solo, uma vez que apresentam compostos neutralizantes da acidez do solo, como os silicatos de cálcio (CaSiO_3) e/ou silicatos de magnésio (MgSiO_3), que se comportam semelhantemente ao calcário (Prezotti e Martins, 2012).

As escórias siderúrgicas constituem-se uma das fontes mais baratas e abundantes de silicato. De maneira simplificada, a escória silicatada ou de siderurgia é um subproduto gerado no processo siderúrgico, que tem como etapa inicial a obtenção do ferro bruto e impuro (ferro-gusa) através da redução do minério de ferro, obtido por meio da sílica do minério de ferro que reage com cálcio do calcário em alto forno, resultando o silicato de cálcio com impurezas (Malavolta, 1981).

Segundo Alcarde e Rodella (2003), os silicatos apresentam ação neutralizante por meio da base SiO_3^{2-} que reage com a água presente no solo, liberando íons OH^- , que neutralizam o H^+ e o Al^{3+} fitotóxico e consequentemente, ocorre elevação do pH e dos teores de Ca e Mg, aumento da saturação por base (V%), além da diminuição da acidez potencial (Prado e Fernandes., 2000a; Prado et al., 2002, 2003). As reações são descritas, conforme as equações a seguir:



De maneira geral, verifica-se similaridade na correção da acidez do solo utilizando-se escória de siderurgia substituição ao calcário. A principal diferença observada entre os corretivos é a superfície específica (área de contato) e o poder neutralizante (PN). Estudo realizado por Alcarde e Rodella (2003) comprovam que o silicato de cálcio é 6,8 vezes mais

solúvel que o carbonato de cálcio, apresentando, portanto, um maior potencial para correção de acidez do solo em profundidade.

O silício (Si) é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre, encontrado principalmente, na forma de dióxido de silício (SiO_2), o quartzo, associado a minerais inertes de areias, bem como na caulinita e outros minerais de argila (Embrapa, 1982). Embora não seja considerado como um elemento essencial para as plantas, seus efeitos benéficos sobre o crescimento e eficiência agronômica têm sido cada vez mais comprovado em diversos trabalhos (Haynes, 2014; Yan et al., 2018), principalmente para culturas acumuladoras de Si como, as gramíneas em geral, dentre elas a cana-de-açúcar e arroz (Leite et al., 2008).

O Si é um elemento capaz de proteger as plantas contra estresses bióticos (fitopatógenos e pragas de insetos) e abióticos (toxicidade de metais, estresse hídrico, salinidade) (Ma e Yamaji, 2008). Do ponto de vista agronômico, uma das principais formas de Si no solo, a que a planta é capaz de absorver é o ácido monossilícico (H_4SiO_4). A absorção ocorre por difusão passiva, com o elemento acompanhando o fluxo de massa da água que penetra nas raízes das plantas (Raij, 1991).

As escórias silicatadas na agricultura podem ser utilizadas, basicamente, como fornecedoras de Ca, Mg e Si para as culturas ou como corretivos de acidez do solo, entretanto apesar do efeito benéfico, este resíduo de origem industrial pode conter metais pesados em teores relativamente elevados (Sobral et al., 2011).

A presença de metais pesados no solo pode ter origem natural, dependendo do material de origem e do grau de intemperização sofrido, ou antropogênica, que é a principal razão do aumento crescente na concentração de metais pesados em solos agrícolas (Abreu et al., 2002). Para reduzir o risco potencial de contaminação por compostos nocivos, é necessário conhecer sua composição química, interação com o solo e mobilidade ao longo do perfil, disponibilidade a planta, e consequentemente, sua influência ou não na cadeia alimentar.

Nesse contexto, objetivou-se de avaliar o potencial agrícola do produto à base de escórias de siderurgia, comercializado como Agrosilício Plus, quanto à eficiência na correção da acidez do solo, em comparação ao calcário dolomítico, sobre a produtividade da gramínea forrageira *Panicum maximum* cv. BRS Zuri. Além de avaliar as alterações nos atributos químicos do solo, em resposta a diferentes formas de aplicação dos produtos corretivos de acidez do solo.

2.3 Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, localizada no campus do Gragoatá, da Universidade Federal Fluminense, no município de Niterói-RJ. O clima da região segundo classificação climática de Köppen é clima tropical (Aw), com verão chuvoso e inverno seco. O experimento foi realizado no período de janeiro a maio de 2019.

O solo utilizado na experimentação foi coletado na fazenda experimental da Embrapa Gado de Leite, em Coronel Pacheco-MG, região da Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, e é caracterizado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura argilosa, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos descrito pela Embrapa (2013).

As amostras de solo coletadas na camada superficial de 0-20 cm de profundidade, foram secas ao ar e passadas em peneira em malha de 2 mm. As amostras foram caracterizadas quimicamente conforme metodologias descritas por Teixeira et al. (2017) e Camargo et al. (2009).

Tabela 1. Caracterização química do solo antes da instalação do experimento.

Atributos	Determinações	Unidade	Prof. 0 -20 cm
pH	CaCl ₂	-	3,9
MO	Oxidação	g/dm ³	21
P	Mehlich	mg/dm ³	3,8
K⁺	Resina	mmolc/dm ³	2,5
Ca²⁺	Resina	mmolc/dm ³	4
Mg²⁺	Resina	mmolc/dm ³	3
Na⁺	Mehlich	mmolc/dm ³	0,4
H+Al	Cálculo	mmolc/dm ³	86
Al³⁺	KCl	mmolc/dm ³	8
SB	Cálculo	mmolc/dm ³	9,9
T	Cálculo	mmolc/dm ³	95,9
V	Cálculo	%	10
m	Cálculo	%	44,69
S	Fosfato de C	mg/dm ³	32
B	Água Quente	mg/dm ³	0,62
Cu	Mehlich	mg/dm ³	1,9
Fe	Mehlich	mg/dm ³	61
Mn	Mehlich	mg/dm ³	11,1
Zn	Mehlich	mg/dm ³	0,6
Mo	Água Régia	mg/dm ³	0,2

MO= Matéria Orgânica; SB= Soma de bases trocáveis (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺); T= CTC (Capacidade de troca de catiônica) (SB+H+AL); V%= saturação por bases [(SB/T)100]; m= saturação por alumínio [(AL³⁺/ Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺ + AL³⁺)100].

Para esse estudo utilizou-se o produto comercial Agrosilício Plus, registrado junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), como corretivo de acidez do solo. Foi realizado a caracterização química do Agrosilício Plus e foram determinados os teores de K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn e Al pelo método de espectrofotometria de absorção atômica. As determinações de P e Na foram obtidas por espectrofotometria de emissão; N pelo macrométodo da Liga de Raney; a concentração de P obtida pelo método analítico Gravimétrico do Quimociac; B por espectrofotometria da Azometina -H e S pelo método gravimétrico do Sulfato de Bário (Tabela 2). As análises foram feitas conforme o Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Tabela 2. Composição química do produto comercial Agrosilício Plus.

	N	P	k*	Ca*	Mg*	Cu*	Zn*	Fe*	Mn*	Al*	S	Na*	B
%	 ppm %		
Agrosilício Plus	0,06	0,56	0,11	22,64	4,79	41,84	15,18	4,1	0,64	1,06	1,43	0,06	0,02

* extrator ($\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$)

O experimento foi montado em blocos casualizados, com quatro repetições em esquema fatorial de $2 \times 2 \times 4 + 1$, sendo duas fontes (Agrosilício Plus e Calcário Dolomítico), duas formas de aplicação do produto (incorporado ao solo e aplicado na superfície), quatro doses (1,44; 2,88; 5,77; 8,65 g.vaso⁻¹) e mais um tratamento controle sem corretivo, perfazendo um total de 17 tratamentos e 68 unidades experimentais (Tabela 3).

Tabela 3. Tratamentos resultantes do delineamento experimental.

	Dose (%)	Calcário		Agrosilício Plus	
		t.ha ⁻¹	g.vaso ⁻¹	t.ha ⁻¹	g.vaso ⁻¹
Incorporado (I)	0	0	0	0	0
	25	0,57	1,44	0,54	1,36
	50	1,15	2,88	1,09	2,72
	100	2,31	5,77	2,18	5,45
	150	3,46	8,65	3,27	8,17
Superficial (S)	25	0,57	1,44	0,54	1,36
	50	1,15	2,88	1,09	2,72
	100	2,31	5,77	2,18	5,45
	150	3,46	8,65	3,27	8,17

A determinação das doses dos corretivos foram estimadas segundo a necessidade de calagem (NC), baseada nas características do solo (Tabela 1), e exigência da cultura, segundo a recomendação para o Estado de Minas Gerais pelo método da neutralização da acidez trocável e da elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis (Ribeiro et al., 1999). Para realização dos cálculos da necessidade de calagem utilizou-se a fórmula: $NC = Y \times [Al^{3+} - (m_t \times t/100)] + [X - (Ca^{2+} + Mg^{2+})]$, em que $Y = 3,0$ de acordo com a textura do solo, $m_t = 25\%$ a máxima saturação por Al^{3+} tolerada pela cultura e $X = 1,5$ de acordo com as exigências nutricionais da gramínea forrageira *Panicum. maximum* cv. BRS Zuri em cálcio e magnésio.

Cada unidade experimental foi conduzida em vasos plásticos, adotando-se o peso de 5 kg de solo por vaso. O solo foi preparado com a adição dos materiais corretivos nas suas respectivas doses, no qual ficou incubado por um período de 30 dias. Neste período, a umidade da terra foi mantida a 70% próxima a capacidade de campo, para que ocorresse a reação dos corretivos no solo.

Transcorrido o tempo de incubação, foram retiradas amostras de solo de cada vaso que foram enviadas para uma nova análise química, segundo metodologia de Camargo et al. (2009). Em seguida, foram semeadas 10 sementes por vaso do capim *Panicum maximum* cv. BRS Zuri na profundidade de 1,0 cm (Figura 1).

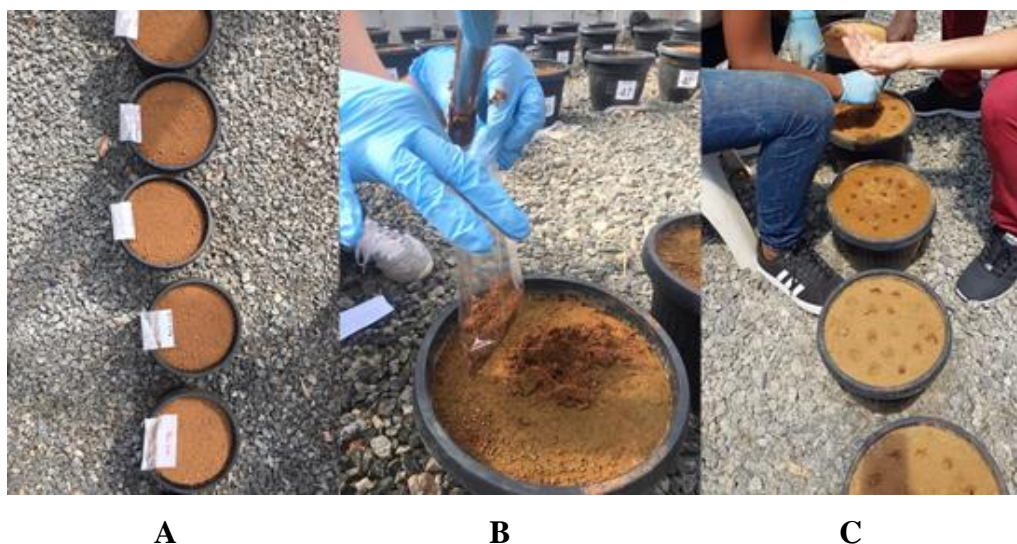


Figura 1. Detalhes da condução do experimento. Incorporação do corretivo no solo (A), amostragem de solo, após o período de incubação (B), seguido da semeadura (C). Fonte: Mariana G. Guimarães.

Após a semeadura, todos os vasos receberam uma adubação adicional básica, aplicando-se 100 mL.vaso⁻¹ de solução nutritiva, contendo N e P, na forma de MAP (60% de P₂O₅ e 11% de N), K (KCl), B (H₃BO₃), Cu (CuSO₄.5H₂O) Fe (FeCL3.6H₂O), Mn (NaMoO₄.2H₂O), Mo(ZnSO₄.7H₂O) e Zn, segundo a recomendação de Furlani et al. (1999) com adaptações, para a garantia de um bom desenvolvimento da cultura.

O período de condução do experimento foi de 120 dias: 30 dias o período de incubação e dois ciclos de 45 dias cada. Passados 45 dias, ao término de cada ciclo, foi feito o corte do material vegetal (parte aérea), obtendo-se a produção de massa verde de cada unidade experimental. O material vegetal coletado foi acondicionado em saco de papel e submetido a secagem em estufa com circulação forçada de ar a temperatura de 65° C até ter massa constante. Em seguida, o material foi pesado e moído em moinho tipo *Willey*, com facas e câmara de aço inoxidável, conforme Carmo et al. (2000). Foram determinados os teores nas plantas de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn, Mn e B, segundo a metodologia descrita por Malavolta et al. (1989).

Os dados provenientes de mensurações químicas de elementos do solo e tecido foliar foram submetidos a análise estatística no software R (<https://cran.r-project.org>), versão. 3,5,2. O pacote R utilizado para os testes de média foi o *agricolae*. Os gráficos foram construídos com o pacote *ggplot2*.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA, $p \leq 0,05$) e as médias comparadas através do teste de *Tukey* ($p \leq 0,05$) quando houve significância. Dados com distribuição normal foram submetidos a análise de variância, dados que não apresentaram distribuição normal foram submetidos a transformação logarítmica. Para os dados que não apresentaram distribuição normal pela transformação logarítmica, realizou-se análise de variância não paramétrica.

A análise de variância foi computada para a identificação de diferença significativa na variância entre os tratamentos, pelo modelo fatorial: Variável ~ Produto * Aplicação * Dose, e quando significativo foi utilizado o teste de *Tukey* ($p \leq 0,05$) para os fatores qualitativos e análise de regressão para os fatores quantitativos. As análises estatísticas foram realizadas para cada ciclo isoladamente.

2.4 Resultados e discussão

Efeito dos corretivos nos atributos químicos do solo

Os resultados apontam diferença significativa para os valores de pH entre os tratamentos que receberam calcário, demonstrando efeito entre a forma de aplicação e as diferentes doses estabelecidas. Para os tratamentos que receberam o Agrosilício Pus, não houve interação significativa sobre o valor do pH no solo (Tabela 4). Observou-se interação para as variáveis pH, Ca, Mg e (H+Al), quando comparadas com o resultado inicial no solo, indicando efeito positivo das duas fontes de corretivos.

Tabela 4. Característica químicas do solo após a incubação de amostras de solo por 30 dias em função de fontes, doses e formas de aplicação de corretivos.

Calcário						Agrosilício Plus					
Dose	pH tampão SMP	Ca	Mg	Ca + Mg	Acidez potencial H +Al ⁺³	pH tampão SMP	Ca	Mg	Ca + Mg	Acidez potencial H +Al ⁺³	
%	-	mmolc/dm³	mmolc/dm³	mmolc/dm³	mmolc/dm³	-	mmolc/dm³	mmolc/dm³	mmolc/dm³	mmolc/dm³	
Incorp. (I)	0	5,78 c	6,00 c	2,50 b	8,50 ^{ns}	53,50 a					
	25	5,84 c	10,00 b	2,00 b	12,00 ^{ns}	50,50 a	5,82 ^{ns}	6,00 b	2,50 b	8,50	51,00 a
	50	5,98 bc	13,50 b	2,50 ab	16,00 ^{ns}	43,50 ab	5,94 ^{ns}	8,00 ab	3,00 ab	11,00	45,00 a
	100	6,11 ab	18,50 ab	3,50 ab	22,00 ^{ns}	38,00 bc	5,92 ^{ns}	13,00 a	4,50 a	17,50	46,00 ab
	150	6,25 a	25,50 a	4,00 a	29,50 ^{ns}	33,00 c	5,93 ^{ns}	12,00 ab	4,50 a	16,50	45,50 b
CV (%)	2,76	37,8	30,86	16,58	17,23	0,96	33,68	29,26	12,01	5,86	
Superf. (S)	25	5,89 bc	12,00 bc	2,00 b	14,00 ^{ns}	47,00 ab	5,88 ^{ns}	7,50 b	3,00 b	10,50	47,50 ^{ns}
	50	6,01 bc	17,00 abc	3,00 ab	20,00 ^{ns}	42,50 abc	5,86 ^{ns}	8,00 b	3,00 b	11,00	49,50 ^{ns}
	100	6,19 ab	24,50 ab	4,00 a	28,50 ^{ns}	34,50 bc	6,01 ^{ns}	15,00 ab	5,00 a	20,00	42,00 ^{ns}
	150	6,35 a	29,00 a	4,00 a	33,00 ^{ns}	29,50 c	6,11 ^{ns}	24,00 a	6,50 a	30,50	38,00 ^{ns}
CV (%)	3,71	52,19	28,25	34,77	22,66	2,03	54,19	36,53	17,67	12,18	

Aplicação superficial (S) e incorporada (I). Teste de média de Tukey (p<0,05) dos parâmetros mensurados pela análise química. Médias com diferentes letras se diferenciam estatisticamente uma da outra, e ns indicam que não há diferença significativa pela análise de variância.

O valor do pH foi crescente com o aumento das doses utilizadas e o Agrosilício Plus foi tão eficiente quanto o calcário na correção da acidez do solo. Este resultado pode ser explicado, pelo fato de o Agrosilício Plus apresentar em sua composição química o constituinte

neutralizante (SiO_3^{2-}) e promover a liberação de hidroxilas (OH^-) que no solo reagem neutralizando os prótons (H^+), promovendo a elevação do pH (Alcarde e Rodella, 2003). A interação corretivo x dose apresentou resultado significativo, com decréscimo do $\text{H}+\text{Al}$ no solo em função do aumento das doses de calcário e Agrosilício.

O teor de cálcio trocável também aumentou com o aumento das doses de calcário e Agrosilício quando aplicados no solo, o que pode ser explicado pela quantidade de Ca presente na composição química desses insumos. No tratamento controle, o teor de Ca presente no solo é de $6,0 \text{ mmol/dm}^3$, enquanto, na dose máxima de Agrosilício Plus aplicado na superfície, o teor de Ca atingiu $24,00 \text{ mmol/dm}^3$. Para os tratamentos que receberam o calcário como corretivo de acidez, o maior teor de Ca foi de $29,00 \text{ mmol/dm}^3$.

Com relação aos teores de Mg, apenas os tratamentos que receberam as maiores doses dos corretivos obtiveram acréscimos no teor de Mg no solo, quando comparados com o tratamento controle. Analisando o somatório de $\text{Ca}+\text{Mg}$, o melhor resultado encontrado foi para o tratamento que recebeu o calcário aplicado sobre a superfície ($33,00 \text{ mmol/dm}^3$).

Os resultados nas alterações químicas do solo corroboram com a pesquisa de Chaves e Farias (2008), avaliando a correção da acidez do solo, para diferentes níveis de saturação por bases, utilizando escória de siderurgia e calcário dolomítico e na disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo. Todos os corretivos foram eficientes na correção da acidez do solo, especialmente quando se utilizou o Agrosilício. Os teores de Ca e Mg aumentaram em função das doses crescentes dos corretivos, já para os teores de P disponível no solo, não houve aumento em função da aplicação dos corretivos ao solo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Santana et al. (2010), em experimento com capim braquiária, avaliando a composição química do solo após incubação dos corretivos (calcário e escória silicatada). Ambos os corretivos proporcionaram ao solo efeito positivo em relação ao pH, sendo que o calcário proporcionou maior valor do pH quando comparado com a escória silicatada. As variáveis Ca, Mg e $\text{H}+\text{Al}$ foram significativas em relação ao fator dose, independentemente do corretivo.

Produção da matéria seca (MS)

Para a produção de matéria seca (PMS) do capim BRS Zuri, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Tanto para o 1º ciclo, como para o 2º ciclo, o corretivo utilizado, a forma de aplicação e as diferentes doses não influenciaram na produtividade da gramínea (Tabela 5).

Tabela 5. Produção de matéria seca (PMS) da parte aérea do capim BRS Zuri, em resposta aos diferentes tratamentos (1º ciclo e 2º ciclo).

		1º CICLO		2º CICLO	
	Dose	Calcário	Agrosilício Plus	Calcário	Agrosilício Plus
	%	g.vaso ⁻¹	g.vaso ⁻¹	g.vaso ⁻¹	g.vaso ⁻¹
Incorp. (I)	0	5,08 ^{ns}	-	14,44 ^{ns}	-
	25	6,37 ^{ns}	7,58 ^{ns}	17,40 ^{ns}	22,25 ^{ns}
	50	7,94 ^{ns}	8,71 ^{ns}	25,57 ^{ns}	24,44 ^{ns}
	100	7,48 ^{ns}	8,59 ^{ns}	25,73 ^{ns}	27,26 ^{ns}
	150	6,61 ^{ns}	6,13 ^{ns}	29,74 ^{ns}	28,21 ^{ns}
CV (%)		41,78	32,18	28,19	15,14
Superf. (S)	25	6,44 ^{ns}	8,14 ^{ns}	21,73 ^{ns}	22,61 ^{ns}
	50	6,87 ^{ns}	8,38 ^{ns}	19,29 ^{ns}	26,18 ^{ns}
	100	5,17 ^{ns}	9,59 ^{ns}	19,86 ^{ns}	26,91 ^{ns}
	150	8,76 ^{ns}	7,70 ^{ns}	28,62 ^{ns}	26,07 ^{ns}
CV (%)		49,34	20,20	38,45	11,12

Aplicação superficial (S) e incorporada (I). Teste de média de *Tukey* ($p < 0,05$) dos parâmetros mensurados pela análise química. ns indica que não há diferença significativa pela análise de variância.

Observou-se, em todos os tratamentos, que não houve diferença estatística para a PMS. Do primeiro corte para o segundo corte verifica-se um aumento na PMS. Esse aumento de massa pode ser associado ao tempo de incubação, visto que no segundo ciclo o tempo de reação dos corretivos no solo foi maior que no primeiro ciclo.

Esse aumento de massa do primeiro corte em relação ao segundo é relatado em outras pesquisas. Resultado semelhante foi observado por Stocco et al. (2014) em estudo com as gramíneas *B. decumbens* e *B. brizantha* e por Fonseca et al. (2009) que verificaram um aumento na produção do capim-marandu.

Korndörfer et al. (2010) obtiveram resultados semelhante. Em estudo feito com duas gramíneas forrageiras (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Panicum maximum* cv. Mombaça), aplicou-se doses crescentes de silicato de cálcio e foram realizados dois cortes, aos 45 e 95 dias após a semeadura. A produção de massa seca nas forrageiras, tanto no primeiro como no segundo corte, não foram afetadas com as doses de silicato.

O trabalho de Melo et al. (2003) constataram que a aplicação de adubação de silício sobre um Latossolo Vermelho aumentou o teor dos nutrientes em ambas as espécies de gramíneas *Brachiaria decumbens* Stapf e *Brachiaria brizantha* Hochst, mas não afetou a produção de matéria seca.

Foi observada diferença estatística entre o calcário e o Agrosilício Plus no primeiro ciclo quanto a PMS, mostrando que nesse experimento, no primeiro ciclo, o Agrosilício Plus foi mais eficiente na produção em comparação ao calcário, e interferiu positivamente sobre o resultado encontrado. Para o segundo ciclo, não houve diferença estatística (Tabela 6).

Tabela 6. Interação Calcário e Agrosilício Plus X produção de matéria seca (PMS) (1º ciclo e 2º ciclo).

Corretivo	PMS 1º ciclo	PMS 2º ciclo
	g.vaso ⁻¹	g.vaso ⁻¹
Calcário	6,75 b	22,28 ^{ns}
Agrosilício Plus	8,10 a	25,49 ^{ns}

Teste de média de *Tukey* ($p < 0,05$) dos parâmetros mensurados pela análise química. Médias com diferentes letras se diferenciam estatisticamente uma da outra, e ns indicam que não há diferença significativa pela análise de variância.

Entretanto, em estudo realizado por Santana et al. (2010), na avaliação da produção de matéria seca do capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq.), verificou-se que tanto no primeiro como no segundo corte, o calcário proporcionou maior produção de matéria seca nas doses de 1,5 e 2,0 quando comparado com a escória silicatada.

Análise dos macronutrientes na diagnose foliar

Os teores dos elementos N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea das plantas para cada tratamento, encontram-se na Tabela 7.

Verificou-se efeito favorável das duas fontes utilizadas como material corretivo, tanto o calcário quanto o Agrosilício Plus influenciaram nos teores de macronutrientes analisados no tecido foliar.

Tabela 7. Teores médios de macronutrientes na parte aérea da planta em função dos materiais corretivos no solo, aplicação da fonte e dosagem (1º ciclo).

1º CICLO													
		Calcário						Agrosilício Plus					
Dose (%)		N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
		----- g/kg -----						----- g/kg -----					
Incorp. (I)	0	34,1 ^{ns}	2,5 ^{ns}	46,1 ^{ns}	2,6 c	1,8 c	2,0 a						
	25	34,1 ^{ns}	2,4 ^{ns}	32,8 ^{ns}	3,6 bc	2,2 bc	1,6 ^{ns}	35,4 ^{ns}	2,5 ^{ns}	37,5 ^{ns}	2,9 bc	2,1 bc	1,8 ab
	50	33,8 ^{ns}	2,4 ^{ns}	35,5 ^{ns}	4,6 ab	2,6 bc	1,5 ^{ns}	35,4 ^{ns}	2,5 ns	35,5 ^{ns}	3,2 bc	2,9 abc	1,8 ab
	100	32,2 ^{ns}	2,4 ^{ns}	40,4 ^{ns}	5,3 ab	3,2 ab	1,7 ^{ns}	33,8 ^{ns}	2,5 ns	36,5 ^{ns}	4,1 ab	3,2 ab	1,8 ab
	150	30,8 ^{ns}	2,5 ^{ns}	37,2 ^{ns}	5,7 a	3,7 a	1,8 ^{ns}	29,1 ^{ns}	2,4 ns	34,0 ^{ns}	4,5 a	4,0 a	1,5 b
CV (%)		15,91	2,17	24,61	33	31,76	17,51	11,59	2,18	24,49	25,91	34,96	15,35
Superf. (S)	25	35,0 ^{ns}	2,5 ^{ns}	39,0 ^{ns}	3,5 bc	2,0 bc	1,8 ^{ns}	35,0 ^{ns}	2,5ns	37,8 ^{ns}	3,3 bc	2,2 bc	1,7 ^{ns}
	50	37,3 ^{ns}	2,4 ^{ns}	38,5 ^{ns}	4,4 ab	2,2 abc	1,8 ^{ns}	33,6 ^{ns}	2,5ns	36,8 ^{ns}	3,5 b	2,5 bc	1,9 ^{ns}
	100	34,5 ^{ns}	2,5 ^{ns}	40,1 ^{ns}	5,0 a	2,6 ab	1,6 ^{ns}	35,0 ^{ns}	2,5ns	30,7 ^{ns}	4,0 ab	2,8 b	1,9 ^{ns}
	150	34,3 ^{ns}	2,5 ^{ns}	39,2 ^{ns}	5,2 a	3,1 a	1,5 ^{ns}	36,2 ^{ns}	2,5ns	33,0 ^{ns}	4,3 a	3,8 a	1,6 ^{ns}
CV (%)		11,73	2,2	23,48	26,04	22,33	18,28	12,18	1,49	25,41	19,98	28,82	12,04

Aplicação superficial (S) e incorporada (I). Teste de média de *Tukey* ($p < 0,05$) dos parâmetros mensurados pela análise química. Médias com diferentes letras se diferenciam estatisticamente uma da outra, e ns indicam que não há diferença significativa pela análise de variância.

A concentração de N, P e K tem comportamento de maneira similar, não apresentaram diferença significativa entre os diferentes tratamentos. Os teores de N nos tecidos foliares em todos os tratamentos foram acima daqueles considerados adequados para capim (11,3 - 15,0 g.kg⁻¹), os teores de P também estão acima da faixa adequada (0,8 - 1,1 g.kg⁻¹) (Ribeiro et al., 1999).

Em todos os tratamentos, os teores de K nas folhas foram superiores à faixa considerada adequada (14,3 - 18,4 g.kg⁻¹) e os teores de S também estão dentro dos valores adequados para a cultura (1,1 - 1,5 g.kg⁻¹), diferindo estatisticamente apenas para os tratamentos que possuem o Agrosilício Plus incorporado ao solo (Ribeiro et al., 1999).

Houve efeito significativo da interação entre as doses dos materiais corretivos e o teor dos macronutrientes Ca e Mg, no tecido foliar. Observou-se que houve um incremento dos corretivos aplicados, mostrando-se eficiente quanto a incorporação dos macronutrientes. Todos os tratamentos diferem estatisticamente quando comparados com o tratamento controle, que apresentou o menor teor de cálcio (2,6 g.kg⁻¹). O Agrosilício Plus fornece cálcio e magnésio em quantidades semelhantes ao calcário, podendo substituí-lo para este fim (Tabela 7).

Os teores de Ca são adequados para a cultura quando compreendidos entre 4,0 - 10,2 g.kg⁻¹ (Ribeiro et al., 1999). No entanto, nem todos os tratamentos apresentaram resultados dentro dessa faixa. Os tratamentos que receberam as maiores doses dos corretivos 5,77 e 8,65 g.vaso⁻¹ (100% e 150% da dose), apresentaram o teor dentro da faixa considerada adequada.

Por meio do estudo de regressão, verifica-se aumento crescente em função da elevação da saturação por base do solo (Figura 2). A aplicação dos corretivos quando feita de forma incorporada ao solo, torna-se mais eficiente no fornecimento de Ca as plantas. Esse fato por ser explicado pela maior disponibilidade no nutriente em maiores profundidades, o que facilita a absorção pela raiz da planta.

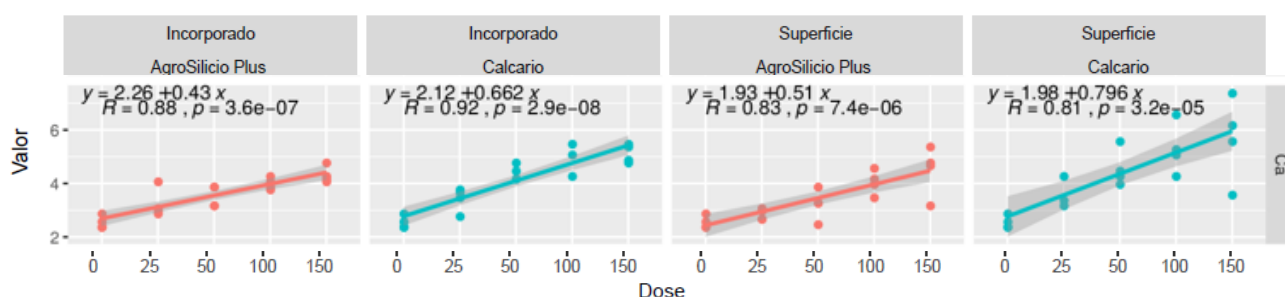


Figura 2. Efeito das doses de calcário e Agrosilício Plus, e forma de incorporação, sobre o teor de Ca na parte aérea das plantas (1º ciclo).

Resultado semelhante foi encontrado por Sarto et al. (2019), estudando o efeito da aplicação de doses de silicato de cálcio e magnésio (CaSiO₃/MgSiO₃) na absorção de nutrientes, observaram o aumento nos teores de Ca e Mg, de forma gradativa, em função da dosagem aplicada e redução dos teores de Zn²⁺ e Mn²⁺ no tecido foliar. O silicato de cálcio e magnésio proporcionou melhor equilíbrio nutricional na cultura.

Os teores de Mg da parte aérea da planta encontram-se dentro da faixa adequada para este elemento, variando de 1,2 a 2,2 g.kg⁻¹ em todos os tratamentos (Ribeiro et al., 1999). Verificou-se, ainda, interação crescente entre as doses dos corretivos e aumento no teor de Mg foliar (Figura 3). Pelos resultados, percebe-se que o Agrosilício Plus foi a maior fonte de Mg para as plantas, tanto na aplicação incorporada ao solo, como à aplicada superficialmente.

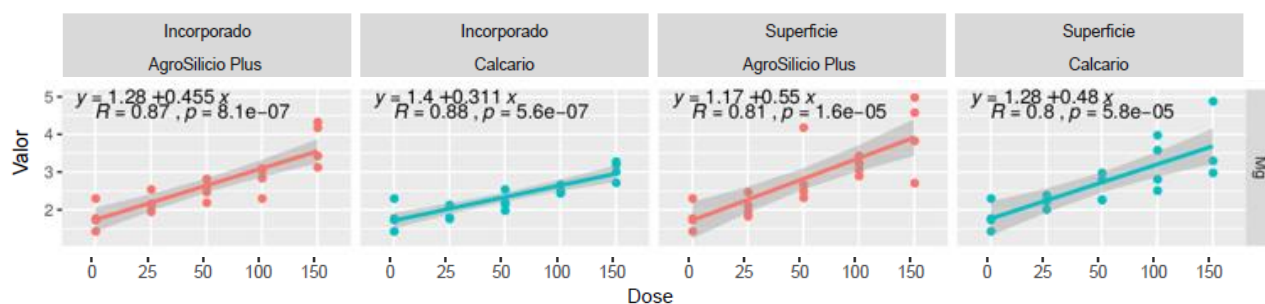


Figura 3. Efeito das doses de calcário e Agrosilício Plus, e forma de incorporação, sobre o teor de Mg na parte aérea das plantas (1º ciclo).

Resultados semelhantes foram encontrados por Caetano et al. (2016) que avaliaram o efeito das doses crescentes de escória no teor de nutrientes da matéria seca da parte aérea do milho. Teores de Ca e Mg no tecido vegetal também aumentaram com doses crescentes de escória e calcário, entretanto, com o maior teor de Ca obtido com a aplicação de escória e o teor de Mg obtido com calcário.

No 2º ciclo, os teores dos macronutrientes analisados estão em sua maioria, de acordo com as faixas de teores de nutrientes adequados para o capim (Tabela 8). A concentração de N, P e S em todos os tratamentos foi acima da faixa considerada adequada para a cultura. Os teores de K em alguns tratamentos foram abaixo do considerado adequado, os tratamentos que receberam o calcário como corretivo obtiveram o macronutriente incorporado em maior quantidade, entretanto, estatisticamente não houve diferença significativa entre os tratamentos. (Ribeiro et al., 1999).

Tabela 8. Teores médios de macronutrientes na parte aérea da planta em função dos materiais corretivos no solo, aplicação da fonte e dosagem (2º ciclo).

		2 ° CICLO											
	Dose (%)	Calcário						Agrosilício Plus					
		N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
		g/kg						g/kg					
Incorp. (I)	0	32,38 ^{ns}	2,36 a	22,18 ^{ns}	3,10 c	2,11 c	2,10 ^{ns}						
	25	28,53 b	2,34 a	17,98 ^{ns}	4,78 bc	2,32 bc	1,85 ^{ns}	31,68 ^{ns}	2,33 ^{ns}	13,68 ^{ns}	3,53 b	2,39 c	1,70 ^{ns}
	50	37,28 a	2,32 ab	11,85 ^{ns}	5,38 bc	2,54 bc	1,85 ^{ns}	30,63 ^{ns}	2,36 ^{ns}	12,15 ^{ns}	4,50 ab	3,01 bc	1,70 ^{ns}
	100	32,20 ab	2,32 ab	14,03 ^{ns}	7,78 ab	3,84 ab	1,65 ^{ns}	29,75 ^{ns}	2,35 ^{ns}	11,03 ^{ns}	4,95 ab	4,01 b	1,65 ^{ns}
	150	28,23 b	2,28 b	11,00 ^{ns}	9,57 a	5,03 a	1,67 ^{ns}	32,03 ^{ns}	2,34 ^{ns}	13,55 ^{ns}	6,25 a	5,44 a	1,68 ^{ns}
CV (%)		15,12	1,87	43,87	44,88	40,36	16,08	10,47	2,29	41,78	31,78	39,02	16,87
Superf. (S)	25	34,83 ^{ns}	2,33 ab	15,73 ^{ns}	3,93 bc	2,31 a	2,00 ^{ns}	32,38 ^{ns}	2,34 ^{ns}	12,35 ^{ns}	3,58 bc	2,69 bc	1,88 ab
	50	31,15 ^{ns}	2,35 a	16,90 ^{ns}	5,58 bc	2,41 a	1,90 ^{ns}	29,93 ^{ns}	2,34 ^{ns}	11,53 ^{ns}	4,85 abc	3,05 bc	1,85 ab
	100	29,40 ^{ns}	2,32 ab	20,40 ^{ns}	6,70 ab	3,47 a	1,70 ^{ns}	30,63 ^{ns}	2,35 ^{ns}	12,53 ^{ns}	5,53 ab	4,01 ab	1,98 ab
	150	30,10 ^{ns}	2,29 b	12,68 ^{ns}	8,88 a	3,33 a	1,68 ^{ns}	31,33 ^{ns}	2,35 ^{ns}	12,55 ^{ns}	5,83 a	4,70 a	1,53 b
CV (%)		15,34	1,86	42,9	46,11	32,19	13,94	9,02	2,26	42,55	31,88	33,1	14,79

Aplicação superficial (S) e incorporada (I). Teste de média de *Tukey* ($p < 0,05$) dos parâmetros mensurados pela análise química. Médias com diferentes letras se diferenciam estatisticamente uma da outra, e ns indicam que não há diferença significativa pela análise de variância.

Os teores de Ca da parte aérea da planta encontram-se dentro da faixa adequada quando variam de 4,0 - 10,2 g.kg⁻¹. Os tratamentos que receberam as maiores doses de corretivos apresentaram resultado dentro do ideal para gramínea forrageira. Para o Mg foliar, todos os tratamentos tiveram resultados positivos, acima dos valores considerados adequados (Ribeiro et al., 1999).

Observa-se, por meio do estudo de regressão, que tanto o teor de Ca e Mg foliar foram crescentes com o aumento da dose dos corretivos aplicados, também obtiveram resultados semelhantes com a aplicação do Agrosilício Plus e do calcário. O resultado do 2º ciclo foi similar ao resultado do 1º ciclo, com aumento do teor em função da aplicação do corretivo (Figura 4).

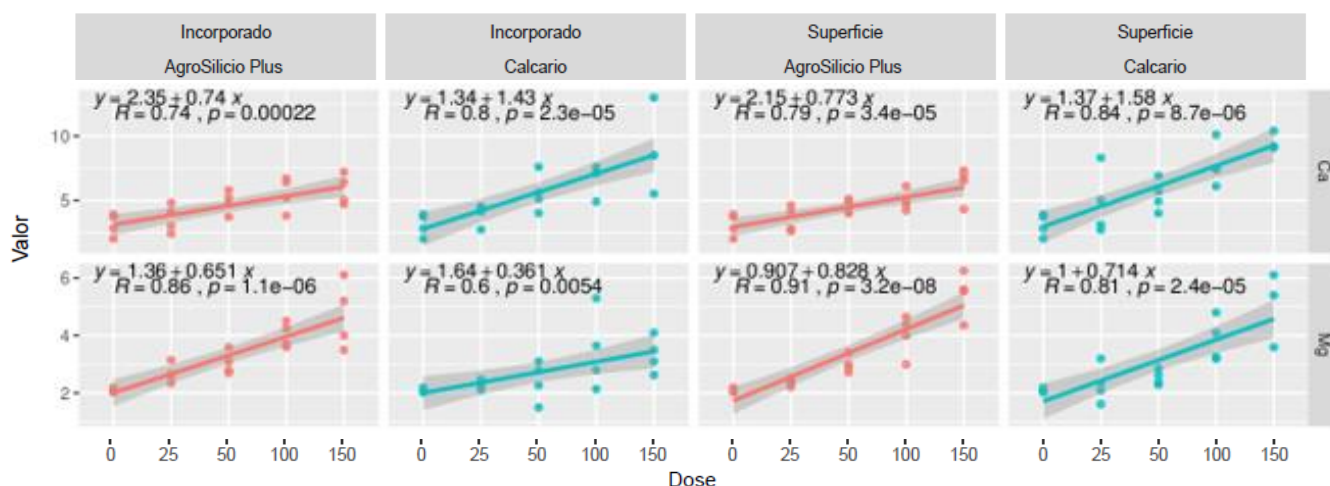


Figura 4. Efeito das doses de calcário e Agrosilício Plus, e forma de incorporação, sobre o teor de Ca e Mg na parte aérea das plantas (2º ciclo).

Comparando os resultados encontrados no 1º e 2º ciclo, constata-se uma redução no teor dos macronutrientes. Resultado semelhante encontrado por Stocco et al. (2014), que atribuíram essa diminuição do teor foliar ao efeito diluição desses elementos na parte aérea das gramíneas. O estudo avaliou o uso de escória de siderurgia na nutrição mineral da *Brachiaria decumbens* e da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivadas em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico.

Na literatura, tem sido frequente relatos de estudos que confirmam a aplicação de fertilizantes a base de escória na correção da acidez do solo e no acréscimo dos teores de macronutrientes as plantas. Stocco et al. (2014) estudaram a aplicação da escória de siderurgia na nutrição das gramíneas *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria decumbens*, cultivadas em Latossolo Vermelho-Amarelo. Após 40 e 80 dias realizou-se o 1º e 2º corte da parte aérea, respectivamente. Os autores constataram aumento nos teores de N, P e K na parte aérea de ambas as gramíneas estudadas. A escória mostrou-se uma alternativa viável no fornecimentos de nutrientes essenciais as gramíneas forrageiras.

Apesar dos tratamentos terem influenciado o teor dos nutrientes na parte aérea da planta, esses valores não expressam a parte absorvida, pois é obtida pelo acúmulo dos nutrientes (teor de nutriente X MS). Com essas informações é possível inferir sobre a quantidade de nutriente exportada, ou seja, acumulada na parte aérea.

Com relação ao acúmulo de nutrientes (teor x MS) na parte aérea do capim BRS Zuri, em função da aplicação de fontes e doses de material corretivo, não houve diferença significativa para os macronutrientes N, P e K analisados no 1º ciclo. No entanto, observou-se efeito significativo para o acúmulo dos macronutrientes N e P no 2º ciclo (Tabela 9).

Tabela 9. Acúmulo de N, P e K na parte aérea da planta em função dos materiais corretivos no solo, aplicação da fonte e dosagem (1º ciclo e 2º ciclo).

		1º CICLO						2º CICLO					
		Calcário			Agrosilício Plus			Calcário			Agrosilício Plus		
	Dose (%)	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
		----- mg.vaso-l -----						----- mg.vaso-l -----					
Incorp. (I)	0	181,40 ^{ns}	12,52 ^{ns}	209,63 ^{ns}				456,84 ^{ns}	34,17 ^{ns}	260,96 ^{ns}			
	25	284,15 ^{ns}	20,48 ^{ns}	273,78 ^{ns}	272,87 ^{ns}	18,60 ^{ns}	277,30 ^{ns}	489,16 ab	40,76 bc	254,11 ^{ns}	692,74 a	51,75 ab	294,64 ^{ns}
	50	261,13 ^{ns}	18,4 ^{ns}	280,50 ^{ns}	307,86 ^{ns}	21,42 ^{ns}	310,05 ^{ns}	955,27 a	59,27 ab	303,61 ^{ns}	737,16 a	57,47 a	294,86 ^{ns}
	100	240,14 ^{ns}	17,85 ^{ns}	303,56 ^{ns}	291,53 ^{ns}	21,08 ^{ns}	312,90 ^{ns}	830,17 ab	59,60 ab	358,24 ^{ns}	806,03 a	63,92 a	300,01 ^{ns}
	150	199,24 ^{ns}	16,18 ^{ns}	233,31 ^{ns}	174,96 ^{ns}	14,52 ^{ns}	207,35 ^{ns}	836,82 ab	67,68 a	325,12 ^{ns}	904,10 a	66,06 a	375,06 ^{ns}
CV (%)		37,46	37,31	34,11	41,33	37,75	34,09	39,59	35,94	29,78	27,64	28,91	23
Superf. (S)	25	222,60 ^{ns}	15,81 ^{ns}	244,78 ^{ns}	282,64 ^{ns}	20,26 ^{ns}	305,67 ^{ns}	758,02 ^{ns}	50,67 ^{ns}	336,52 ^{ns}	725,06 ab	52,85 ab	277,34 ^{ns}
	50	248,50 ^{ns}	16,46 ^{ns}	246,75 ^{ns}	275,99 ^{ns}	20,84 ^{ns}	312,13 ^{ns}	649,93 ^{ns}	45,03 ^{ns}	243,68 ^{ns}	782,08 ab	61,06 ab	301,06 ^{ns}
	100	246,06 ^{ns}	16,70 ^{ns}	252,16 ^{ns}	334,10 ^{ns}	23,96 ^{ns}	295,99 ^{ns}	559,25 ^{ns}	46,00 ^{ns}	362,28 ^{ns}	817,80 a	63,19 ab	332,97 ^{ns}
	150	297,84 ^{ns}	21,52 ^{ns}	343,82 ^{ns}	279,14 ^{ns}	19,13 ^{ns}	249,89 ^{ns}	860,47 ^{ns}	65,59 ^{ns}	365,78 ^{ns}	817,66 a	61,22 a	320,81 ^{ns}
CV (%)		42,63	41,58	36,94	30,84	30,51	27,21	39,59	38,12	29,59	24,39	25,54	20,62

Aplicação superficial (S) e incorporada (I). Teste de média de *Tukey* ($p < 0,05$) dos parâmetros mensurados pela análise química. Médias com diferentes letras se diferenciam estatisticamente uma da outra, e ns indicam que não há diferença significativa pela análise de variância.

Para o acúmulo do macronutriente N, verificou-se que para ambos os corretivos utilizados, a exportação foi maior nos tratamentos que receberam as maiores doses dos produtos. Para o acumulado de P no 2º ciclo, o resultado foi semelhante, um aumento na exportação em função do aumento da dose aplicada. Os tratamentos que a dose 150% de corretivo obtiveram maior acúmulo de nutrientes.

Verificou-se ainda, aumento no acúmulo de nutrientes do 1º ciclo para o 2º ciclo. Este resultado era esperado, uma vez que o cálculo dos nutrientes acumulados pela parte aérea está relacionado com a produção de matéria seca, visto que, nesse experimento a produção da gramínea foi maior no segundo ciclo.

Analisando o acúmulo dos macronutrientes Ca e Mg, a interação corretivo x forma de aplicação x dose apresentou diferença significativa entre os tratamentos no 2º ciclo. Observa-se um aumento na exportação de Ca e Mg com o aumento das doses. O acúmulo de Ca e Mg apresentaram o maior valor na dose 150% (Tabela 10).

Observa-se que, o calcário e Agrosilício Plus para a interação dose e forma de aplicação apresentaram resultados semelhantes, a forma de incorporação do produto no solo não interferiu

na exportação dos nutrientes. O corretivo a base de escória de siderurgia apresentou resultados similares ao calcário, quanto ao acúmulo de nutrientes na parte aérea do capim BRS Zuri.

Tabela 10. Acúmulo de Ca e Mg na parte aérea da planta em função dos materiais corretivos no solo, aplicação da fonte e dosagem (1º ciclo e 2º ciclo).

Dose (%)	1º CICLO				2º CICLO			
	Calcário		Agrosilício Plus		Calcário		Agrosilício Plus	
	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
	----- mg.vaso ⁻¹ -----		----- mg.vaso ⁻¹ -----		----- mg.vaso ⁻¹ -----		----- mg.vaso ⁻¹ -----	
Incorp. (I)	0	13,21 ^{ns}	9,73 ^{ns}		42,06 b	30,96 b		
	25	31,43 ^{ns}	18,76 ^{ns}	21,67 ^{ns}	16,4 ^{ns}	89,07 c	43,23 bc	80,66 bc
	50	36,97 ^{ns}	20,62 ^{ns}	28,40 ^{ns}	25,36 ^{ns}	136,95 bc	64,95 bc	111,00 abc
	100	39,37 ^{ns}	23,84 ^{ns}	35,12 ^{ns}	27,29 ^{ns}	202,65 ab	99,40 ab	135,82 ab
	150	42,57 ^{ns}	25,14 ^{ns}	30,07 ^{ns}	27,23 ^{ns}	284,20 a	147,79 a	175,65 a
CV (%)		56,15	55,15	48,34	53,51	65,05	62,15	48,28
Superf. (S)	25	21,95 ^{ns}	12,51 ^{ns}	26,73 ab	18,09 ab	85,27 b	49,86 ab	81,34 bc
	50	30,69 ^{ns}	15,69 ^{ns}	29,52 ab	21,17 ab	116,17 b	52,11 ab	127,77 ab
	100	33,71 ^{ns}	17,67* ^{ns}	38,62 a	27,27 a	138,18 b	68,72 ab	150,39 a
	150	44,84 ^{ns}	26,99 ^{ns}	33,73 a	29,59 a	248,29 a	94,10 a	151,55 a
CV (%)		56,31	55,36	39,66	44,93	68,55	49,95	49,91

Aplicação superficial (S) e incorporada (I). Teste de média de *Tukey* ($p < 0,05$) dos parâmetros mensurados pela análise química. Médias com diferentes letras se diferenciam estatisticamente uma da outra, e ns indicam que não há diferença significativa pela análise de variância.

Prado et al. (2002) mostraram as similaridades entre os efeitos da aplicação de escória de siderurgia e de calcário na absorção de nutrientes pela planta cana-de-açúcar, cultivada em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. Os resultados apontaram maior acúmulo e exportação de macronutrientes de acordo com as doses de ambos corretivos. A escória de siderurgia foi semelhante ao calcário, quanto aos teores de macronutrientes analisados no tecido foliar.

Análise dos micronutrientes na diagnose foliar

Os micronutrientes, apresentados na Tabela 11 e 12, são absorvidos e exigidos pelas plantas em quantidades inferiores aos macronutrientes, porém, não menos importantes. O cobre, assim como o zinco, atua como constituinte de algumas enzimas, participam do metabolismo de algumas proteínas e carboidratos.

Tabela 11. Teores médios de micronutrientes na parte aérea da planta em função dos materiais corretivos no solo, aplicação da fonte e dosagem (1º ciclo).

1º CICLO										
Dose (%)	Calcário					Agrosilício Plus				
	Cu	Fe	Zn	Mn	B	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	----- mg/kg -----					----- mg/kg -----				
Incorp. (I)	0	11,5 ^{ns}	190,0 ^{ns}	63,8 ^{ns}	405,5 a	37,0 ^{ns}				
	25	12,0 ^{ns}	193,3 ^{ns}	54,3 ab	368,7 ab	29,3 ^{ns}	13,0 a	166,0 ^{ns}	58,0 ^{ns}	399,5 a
	50	12,0 ^{ns}	166,0 ^{ns}	52,0 ab	361,5 ab	35,2 ^{ns}	13,5 a	201,0 ^{ns}	61,2 ^{ns}	372,0 a
	100	10,5 ^{ns}	175,0 ^{ns}	44,8 b	260,0 b	37,5 ^{ns}	10,5 ab	189,0 ^{ns}	51,5 ^{ns}	322,0 ab
	150	11,0 ^{ns}	184,0 ^{ns}	45,0 b	241,0 b	50,5 ^{ns}	9,5 b	236,0 ^{ns}	47,2 ^{ns}	263,0 b
CV (%)		15,57	15,81	22,98	26,22	48,14	19,86	44,77	21,52	24,01
Superf. (S)	25	14,5 ^{ns}	206,0 ^{ns}	56,2 a	369,0 ^{ns}	50,8 ^{ns}	12,5 ^{ns}	213,0 ^{ns}	64,2 a	418,0 a
	50	13,5 ^{ns}	302,0 ^{ns}	51,2 ab	353,0 ^{ns}	29,5 ^{ns}	12,0 ^{ns}	171,0 ^{ns}	54,5 ab	395,5 a
	100	12,7 ^{ns}	233,3 ^{ns}	32,0 ab	336,0 ^{ns}	38,3 ^{ns}	12,0 ^{ns}	160,0 ^{ns}	45,8 b	369,5 ab
	150	12,5 ^{ns}	170,0 ^{ns}	47,2 b	362,0 ^{ns}	34,5 ^{ns}	12,0 ^{ns}	190,0 ^{ns}	44,8 b	331,0 b
CV (%)		14,9	53,9	27,68	12,09	41,48	10,81	29,52	21,49	11,17

Aplicação superficial (S) e incorporada (I). Teste de média de *Tukey* ($p < 0,05$) dos parâmetros mensurados pela análise química. Médias com diferentes letras se diferenciam estatisticamente uma da outra, e ns indicam que não há diferença significativa pela análise de variância.

Os teores de cobre (1º ciclo) nos tecidos foliares em todos os tratamentos foram maiores que os considerados adequados para a cultura do capim (7,0 - 10,0 mg/kg). Os tratamentos que receberam o Agrosilício Plus incorporado ao solo foram os únicos que diferiram e apresentaram um comportamento decrescente em função do aumento da dose aplicada. Os teores de zinco (1º ciclo) nas folhas também foram superiores a faixa adequada para este elemento (20,0 – 25,0 mg/kg) (Ribeiro et al., 1999).

Para o manganês (1º ciclo), os teores apresentados em todos os tratamentos foram superiores aos valores considerados adequados (80,0 – 10,0 mg/kg). Os teores foliares do ferro e boro (1º ciclo) não apresentaram diferença estatística significativa entre os tratamentos, contudo, em todos tratamentos os valores foram acima dos valores de referência descrito por Ribeiro et al. (1999), para a cultura do capim BRS Zuri.

O teor foliar dos micronutrientes analisado após o corte do 2º ciclo foram em todos os tratamentos superiores a faixa adequada para o capim Colonião BRS Zuri. Observa-se que o Agrosilício Plus fornece nutrientes em quantidades semelhantes ao calcário (Tabela 12). O

desdobramento estatístico de todos os elementos analisados (1º ciclo e 2º ciclo) e suas respectivas equações de regressão, seguem no Apêndice A e B.

Tabela 12. Teores médios de micronutrientes na parte aérea da planta em função dos materiais corretivos no solo, aplicação da fonte e dosagem (2º ciclo).

2º CICLO										
Dose (%)	Calcário					Agrosilício Plus				
	Cu	Fe	Zn	Mn	B	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	mg/kg					mg/kg				
Incorp. (I)	0	15,0 ^{ns}	340,0 ^{ns}	138,5 a	852,5 ^{ns}	25,0 ^{ns}				
	25	12,0 ab	248,0 ^{ns}	99,5 b	556,5 ^{ns}	30,8 ^{ns}	12,5 ^{ns}	238,0 ^{ns}	118,5 ab	593,5 ^{ns}
	50	13,5 ab	151,0 ^{ns}	103,2 ab	453,5 ^{ns}	29,2 ^{ns}	12,5 ^{ns}	194,0 ^{ns}	109,8 abc	618,0 ^{ns}
	100	12,0 ab	193,0 ^{ns}	85,0 b	466,0 ^{ns}	27,2 ^{ns}	12,5 ^{ns}	218,0 ^{ns}	93,8 bc	518,5 ^{ns}
	150	9,3 b	156,0 ^{ns}	70,8 b	352,0 ^{ns}	24,8 ^{ns}	12,0 ^{ns}	185,0 ^{ns}	80,8 c	502,0 ^{ns}
CV (%)		19,8	55,18	27,84	44,92	24,98	19,79	44,42	22,06	34,57
Superf. (S)	25	14,5 ^{ns}	206,0 ^{ns}	112,0 ab	680,5 ^{ns}	24,7 ^{ns}	13,0 ^{ns}	169,0 ^{ns}	107,2 ab	561,5 ^{ns}
	50	13,5 ^{ns}	248,0 ^{ns}	94,7 bc	752,0 ^{ns}	21,2 ^{ns}	13,5 ^{ns}	495,0 ^{ns}	92,8 b	760,0 ^{ns}
	100	12,5 ^{ns}	285,0 ^{ns}	69,2 bc	518,5 ^{ns}	39,0 ^{ns}	12,0 ^{ns}	216,0 ^{ns}	93,7 b	580,5 ^{ns}
	150	11,5 ^{ns}	165,0 ^{ns}	63,7 c	421,5 ^{ns}	29,2 ^{ns}	12,0 ^{ns}	157,0 ^{ns}	71,0 b	528,5 ^{ns}
CV (%)		18,82	47,83	32,82	41,79	40,46	18,85	110,53	27,38	29,26

Aplicação superficial (S) e incorporada (I). Teste de média de *Tukey* ($p < 0,05$) dos parâmetros mensurados pela análise química. Médias com diferentes letras se diferenciam estatisticamente uma da outra, e ns indicam que não há diferença significativa pela análise de variância.

Sobral et al. (2011), trabalhando com cana-de-açúcar sobre um Argissolo Vermelho-Amarelo, verificaram que a aplicação de escória de siderurgia promoveu acréscimo nos teores dos macronutrientes (Ca, Mg e P) e micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu) e reduziu a acidez potencial no solo. Além disso, os autores verificaram que a escória siderúrgica aumentou o teor de Zn nas folhas, a altura dos colmos e a área foliar no ciclo de cana-planta.

Sanches (2003), estudando os efeitos do silicato de cálcio sobre o teor foliar da gramínea *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, observaram que a aplicação de doses crescentes (0, 2, 4 e 6 ton.ha⁻¹) de silicato de cálcio alterou a sua composição foliar de forma positiva em relação à testemunha para as condições do experimento, além do acréscimo significativo nos teores de silício no solo e na planta com a utilização do silicato de cálcio, como corretivo de acidez do solo.

2.5 Conclusão

- Os corretivos diferem entre si quanto a produtividade do capim BRS Zuri. O Agrosilício Plus foi mais eficiente na produção em comparação ao calcário. A maior produção de matéria seca foi observada no 2º ciclo do experimento.
- O aumento das doses aplicadas proporciona melhoria nos atributos químicos do solo, ao elevar os valores de pH e aumentar os teores de Ca e Mg, além da diminuição da acidez potencial.
- Não ocorre diferença entre o calcário e o Agrosilício Plus no estado nutricional da gramínea forrageira. Para ambos os corretivos, verifica-se incremento nos teores dos nutrientes e acúmulo na parte aérea do capim BRS Zuri.
- O Agrosilício Plus apresenta resultados semelhantes ao calcário na nutrição do *P. maximum*. Isso indica que ele pode substituir calcário na correção do solo e no fornecimento de cálcio e magnésio.

CAPÍTULO II

EFEITOS DO FERTILIZANTE SILICATADO NO SOLO E PLANTA, EM CAPIM BRS Zuri

RESUMO: A escória de siderurgia, considerada um passivo ambiental, apresenta-se como uma alternativa viável ao uso do calcário, podendo influenciar na absorção de nutrientes pela planta e, conseqüentemente, na diagnose foliar, teor e acúmulo de nutrientes. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação do produto à base de escórias de siderurgia, comercializado como Agrosilício Mg sob diferentes doses, nos atributos químicos do solo e como fertilizante multinutriente, sobre a gramínea forrageira *Panicum maximum* cv. BRS Zuri. Utilizou-se o delineamento em blocos, com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por oito doses (0,00; 0,62; 1,25; 1,87; 2,50; 3,12; 3,75; 4,37; 5,00 g.vaso⁻¹) e mais um tratamento controle, em esquema fatorial 9 x 4, no total 36 unidades experimentais. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ. O solo foi um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico textura argilosa, coletado na fazenda experimental da Embrapa Gado de Leite em Coronel Pacheco, MG. O solo foi coletado na camada de 0-20 cm, destorroado, seco ao ar e passado em peneira de 2,00 mm. O experimento foi realizado em vasos plásticos, com 5 kg de solo. Foram realizados dois cortes, aos 45 e 95 dias após a semeadura, sendo quantificada a produção de massa seca da parte aérea, teor e acúmulo de nutrientes absorvido pelas plantas. Verificou-se que para 100% da dose, o Agrosilício Mg proporcionou o melhor equilíbrio nutricional e garantiu os teores de nutrientes dentro da faixa adequada para a cultura. O teor e acúmulo dos macronutrientes Ca²⁺ e Mg²⁺ aumentaram gradativamente com as doses aplicadas (1º ciclo e 2º ciclo). Portanto, o Agrosilício Mg apresenta potencial uso como fertilizante multinutriente para o capim BRS Zuri.

Palavras-chave: Escória de siderurgia; Solo; Fertilidade do solo; Corretivo de acidez.

ABSTRACT: Steel slag, considered an environmental liability, is a viable alternative to the use of limestone, and may influence the nutrient absorption by the plant and, consequently, the leaf diagnosis, nutrient content and accumulation. The objective of this work was to evaluate the effect of the application of the steel slag product, marketed as Agrosilicon Mg under different doses, on soil chemical attributes and as a multinutrient fertilizer, on forage grass *Panicum maximum* cv. BRS Zuri. A block design with four replications was used. The treatments consisted of eight doses (0,00; 0,62; 1,25; 1,87; 2,50; 3,12; 3,75; 4,37; 5,00 g.vaso⁻¹) and plus a control treatment, in a 9 x 4 factorial scheme, in a total of 36 experimental units. The experiment was conducted in a greenhouse at Fluminense Federal University, Niterói-RJ. The soil was a clayey dystrophic Red Yellow Latosol, collected at the experimental farm of Embrapa Gado de Leite in Coronel Pacheco, MG. The soil was collected in the 0-20 cm layer, broken up, air dried and passed through a 2,00 mm sieve. The experiment was carried out in plastic pots with 5 kg of soil. Two cuts were made at 45 and 95 days after sowing. Quantification of shoot dry matter yield, nutrient content and accumulation absorbed by plants was quantified. It was found that for 100% of the dose, Agrosilício Mg provided the best nutritional balance and guaranteed the nutrient content within the appropriate range for the crop. The content and accumulation of Ca²⁺ and Mg²⁺ macronutrients increased gradually with the applied doses (1st cycle and 2nd cycle). Therefore, Agrosilicon Mg has potential use as a multinutrient fertilizer for BRS Zuri grass.

Keywords: Steel slag; Soil; Soil fertility; Correction of acidity.

EFEITOS DO FERTILIZANTE SILICATADO NO SOLO E PLANTA, EM CAPIM BRS Zuri

3.2 Introdução

O Brasil possui diversos biomas, o que torna essencial a existência de grande número de espécies forrageiras para que todos esses ecossistemas sejam contemplados quando o objetivo for estabelecimento de pastagens (Fonseca et al., 2011), a rentabilidade e a sustentabilidade do sistema depende da escolha correta da forrageira, evitando a degradação da pastagem e o colapso do sistema.

A BRS Zuri é uma gramínea cespitosa de porte ereto e alto, apresenta folhas largas e arqueadas, de coloração verde escura. Os colmos são grossos, com internódio de comprimento mediano e com pouca cerosidade nas folhas. O florescimento é tardio e bem definido. A cultivar BRS Zuri apresenta como característica fisiológica tolerância moderada ao encharcamento do solo, semelhante a outros cultivares de *Panicum maximum*, a exemplo do Tanzânia-1 e Mombaça do mesmo gênero, porém desenvolve-se melhor em solos bem drenados (Embrapa, 2014).

A aplicação de fertilizante a base de siderurgia na agricultura, além de corrigir a acidez do solo, fornece as culturas nutrientes essenciais, e isso é uma vantagem em relação ao calcário, visto que a escória apresenta em sua composição química quantidades suficientes para ser considerada fonte de micronutrientes (Prado et al., 2002).

O silício incrementa o crescimento e a produção de biomassa de grande número de plantas, a maior parte acumula-se na parede celular, causando aumento no teor de clorofila, permitindo que a folha fique mais ereta, atuando na sustentação da planta. Pode também reduzir a toxicidade por metais pesados, aumentar a resistência por estresse de salinidade, deficiência hídrica, pragas e doenças (Reis et al., 2008).

Uma das razões para a resistência das gramíneas forrageiras *braquiárias* e dos *panicuns* em solos pobres, como os solos tropicais, pode ser atribuída a capacidade em absorver e acumular Si nas folhas. Uma vez que o acúmulo de silício reduz a transpiração e faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor, mecanismo fisiológico importante para as gramíneas que desenvolvem em solos submetidos a períodos de estiagem (Melo et al., 2003; Sávio et al., 2011).

Nesse sentido, acredita-se que a utilização de fertilizantes com Si apresente resultados positivos no rendimento das culturas. O silício é acumulado nos tecidos da epiderme logo abaixo da cutícula, precisamente na parede celular (Muad et al., 2003), conferindo-lhe uma

barreira externa rígida, contra ao ataque de insetos sugadores e lagartas que comem folhas. Além disso, o Si pode agir como um modulador da resistência do hospedeiro a patógenos (principalmente fungos, mas também algumas bactérias) por meio de mecanismos fisiológicos e bioquímicos (Haynes, 2014).

Os fertilizantes agrícolas a base de escória são tidos como potenciais fontes de metais pesados, que se incorporados ao solo trazem, ao longo do tempo, a contaminação do ambiente, riscos e perigos para os seres humanos através de ingestão direta ou contato com solo contaminado, danos a cadeia alimentar (solo-planta-humano ou solo-planta-animal-humano), ingestão de água subterrânea contaminada, redução na qualidade dos alimentos e redução da capacidade produtiva da terra para a produção agrícola (Wuana e Okieimen, 2011).

Entretanto, a presença de metais pesados não é exclusividade destes resíduos, uma vez que fertilizantes, corretivos, defensivos e outros produtos usados na agricultura podem contê-los. Os principais metais pesados presentes no solo e nos produtos utilizados na agricultura são o Co, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn e Zn. Dentre esses, deve-se ressaltar que alguns são essenciais às plantas (Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn), às bactérias fixadoras de nitrogênio (Co e Mo) e aos animais (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn) (Abreu et al., 2002).

Assim, para fundamentar o uso agrícola de resíduos de origem industrial, como as escórias silicatadas, na agricultura, além dos aspectos positivos sobre fertilidade do solo, aumento da produtividade e nutrição das plantas, faz-se necessários estudos sobre a liberação de metais potencialmente tóxicos. Ainda são escassas pesquisas desenvolvidas nessa área, a respeito da acumulação no sistema solo-planta, sobretudo para gramíneas forrageiras.

O objetivo foi avaliar o efeito da aplicação do produto à base de escórias de siderurgia, comercializado como Agrosilício Mg sob diferentes doses, nos atributos químicos do solo e como fertilizante multinutriente, sobre a gramínea forrageira *Panicum maximum* cv. BRS Zuri.

3.3 Material e métodos

O experimento foi conduzido na Universidade Federal Fluminense, campus do Gragoatá, Niterói-RJ, com as seguintes coordenadas geográficas: 22° 52' 58" S e 43° 6' 14" O, apresentado um clima tropical (Aw), pelo critério de classificação climática de Köppen, com verão chuvoso e inverno seco. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no período de janeiro a maio de 2019.

O solo utilizado na experimentação foi coletado na fazenda experimental da Embrapa Gado de Leite, em Coronel Pacheco-MG, região da Zona da Mata do Estado de Minas Gerais,

e é caracterizado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura argilosa, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos descrito pela Embrapa (2013).

O solo foi retirado da camada superficial de 0-20 cm de profundidade, em seguida foi seco ao ar e passado na peneira em malha de 2 mm. Para fins de caracterização, realizou-se análise química, quanto aos teores de macro e micronutrientes (Tabela 1) no laboratório do Instituto Brasileiro de Análises (IBRA), segundo metodologia descrita por Teixeira et al. (2017) e Camargo et al. (2009).

Tabela 1. Caracterização química do solo antes da instalação do experimento.

Atributos	Determinações	Unidade	Prof. 0 -20 cm
pH	CaCl ₂	-	3,9
MO	Oxidação	g/dm ³	21
P	Mehlich	mg/dm ³	3,8
K⁺	Resina	mmolc/dm ³	2,5
Ca²⁺	Resina	mmolc/dm ³	4
Mg²⁺	Resina	mmolc/dm ³	3
Na⁺	Mehlich	mmolc/dm ³	0,4
H+Al	Cálculo	mmolc/dm ³	86
Al³⁺	KCl	mmolc/dm ³	8
SB	Cálculo	mmolc/dm ³	9,9
T	Cálculo	mmolc/dm ³	95,9
V	Cálculo	%	10
m	Cálculo	%	44,69
S	Fosfato de C	mg/dm ³	32
B	Água Quente	mg/dm ³	0,62
Cu	Mehlich	mg/dm ³	1,9
Fe	Mehlich	mg/dm ³	61
Mn	Mehlich	mg/dm ³	11,1
Zn	Mehlich	mg/dm ³	0,6
Mo	Água Régia	mg/dm ³	0,2

MO= Matéria Orgânica; SB= Soma de bases trocáveis (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺); T= CTC (Capacidade de troca de catiônica) (SB+H+AL); V%= saturação por bases [(SB/T)100]; m= saturação por alumínio [(AL³⁺/ Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺ + AL³⁺)100].

Para esse estudo utilizou-se o produto comercial Agrosilício Mg, registrado junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), como fertilizante multinutriente. Foi realizado a caracterização química do Agrosilício Mg e foram determinados os teores de K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn e Al pelo método de espectrofotometria de absorção atômica. As determinações de P e Na foram obtidas por espectrofotometria de emissão; N pelo

macrométodo da Liga de Raney; a concentração de P obtida pelo método analítico Gravimétrico do Quimociac; B por espectrofotometria da Azometina -H e S pelo método gravimétrico do Sulfato de Bário (Tabela 13). As análises foram feitas conforme o Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Tabela 13. Composição química do produto comercial Agrosilício Mg.

	N	P	k*	Ca*	Mg*	Cu*	Zn*	Fe*	Mn*	Al*	S	Na*	B
%		 ppm		 %					
Agrosilício Mg	0,10	1,12	0,14	15,60	4,81	52,42	23,32	5,49	0,68	0,85	2,75	0,09	0,02

* extrator (HNO₃ + HClO₄)

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, Os tratamentos foram constituídos por nove doses de Agrosilício Mg (0,00; 0,62; 1,25; 1,87; 2,50; 3,12; 3,75; 4,37; 5,00 g.vaso⁻¹), com quatro repetições (9 x 4), no total 36 unidades experimentais.

A determinação das doses dos corretivos foram estimadas segundo a necessidade de calagem (NC), baseada nas características do solo (Tabela 1), e exigência da cultura, segundo a recomendação para o Estado de Minas Gerais pelo método da neutralização da acidez trocável e da elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis (Ribeiro et al., 1999). Para realização dos cálculos da necessidade de calagem utilizou-se a fórmula: $NC = Y \times [Al^{3+} - (m_t \times t/100)] + [X - (Ca^{2+} + Mg^{2+})]$, em que Y = 3,0 de acordo com a textura do solo, $m_t = 25\%$ a máxima saturação por Al^{3+} tolerada pela cultura e X = 1,5 de acordo com as exigências nutricionais da gramínea forrageira *Panicum. maximum* cv. BRS Zuri em cálcio e magnésio.

Cada unidade experimental foi conduzida em vasos plásticos, adotando-se o peso de 5 kg de solo por vaso. A correção no pH realizou-se de acordo com os resultados da análise do solo (Tabela 1). Aplicou-se Agrosilício Plus incorporado (5,45 g.vaso⁻¹) 30 dias antes da semeadura mantendo-se o solo úmido, próximo a 70% da capacidade de campo.

Transcorrido o tempo de incubação, foram retiradas amostras de solo de cada vaso que foram enviadas para uma nova análise química, segundo metodologia de Camargo et al. (2009). Decorrido período de incubação, o Agrosilício Mg foi aplicado ao solo, de acordo com doses avaliadas. Em seguida, foram semeadas 10 sementes por vaso do capim *Panicum maximum* cv. BRS Zuri a profundidade de 1,0 cm.

Após a semeadura, todos os vasos receberam uma adubação adicional básica, aplicando-se 100 mL.vaso⁻¹ de solução nutritiva, contendo N e P, na forma de MAP (60% de P₂O₅ e 11%

de N), K (KCl), B (H_3BO_3), Cu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) Fe ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), Mn ($\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Mo ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) e Zn, segundo a recomendação de Furlani et al. (1999) com adaptações, para a garantia de um bom desenvolvimento da cultura.

O período de condução do experimento foi de 120 dias: 30 dias o período de incubação e dois ciclos de 45 dias cada. Ao final de cada ciclo, realizou-se o corte do material vegetal (parte aérea), obtendo-se a produção de massa verde de cada unidade experimental. O material vegetal coletado foi submetido a secagem em estufa com circulação forçada de ar a temperatura de 65°C por 72 horas. Em seguida, o material foi pesado e moído em moinho tipo *Willey*, com facas e câmara de aço inoxidável, conforme Carmo et al. (2000) (Figura 5). Foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn, Mn e B nas plantas, segundo a metodologia descrita por Malavolta et al. (1989).

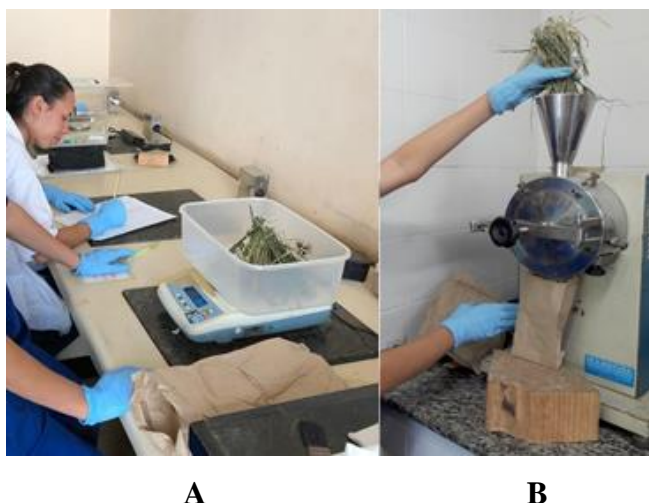


Figura 5. Pesagem da matéria seca (A). Material vegetal sendo moído (B). Fonte: Mariana G. Guimarães.

Os dados provenientes de mensurações químicas de elementos do solo e tecido foliar foram submetidos a análise estatística no software R (<https://cran.r-project.org>), versão. 3,5,2. O pacote R utilizado para os testes de média foi o *agricolae*. Os gráficos foram construídos com o pacote *ggplot2*.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA, $p \leq 0,05$) e as médias comparadas através do teste de *Tukey* ($p \leq 0,05$), quando houve significância. Dados com distribuição normal foram submetidos a análise de variância, dados que não apresentaram distribuição normal foram submetidos a transformação logarítmica. Para os dados que não apresentaram distribuição normal pela transformação logarítmica, realizou-se análise de

variância não paramétrica. O valor p para a análise de variância e teste de média de *Tukey* foi de $p < 0,05$. As análises estatísticas foram realizadas para cada ciclo isoladamente.

3.4 Resultados e discussão

Verificou-se pela análise química do solo, após o período de incubação que, a correção da acidez do solo, resultou no aumento significativo no valor do pH e redução da acidez potencial (H+Al). Inicialmente, o pH do solo era 3,9 e após a aplicação do corretivo, atingiu 5,9. A acidez potencial chegou a 46,0 mmol_c/dm³. Estes resultados são condizentes ao poder reativo do silicato de cálcio (Prado et al., 2000a; Alcarde e Radella, 2003; Prado et al., 2003).

Não houve diferença estatística sobre a produção de matéria seca (PMS) no primeiro ciclo e no segundo ciclo do capim BRS Zuri. As diferentes doses aplicadas de Agrosilício Mg não interferiram de forma significativa na produtividade da forrageira em estudo. Para o 1º ciclo, o tratamento que melhor respondeu a PMS foi o T7, dose 150 % e no 2º ciclo o T8, dose 175% (Tabela 14). De forma semelhante ao estudo do Capítulo I, verifica-se um aumento na PMS no segundo corte em relação primeiro corte.

Tabela 14. Produção de matéria seca da parte aérea do capim BRS Zuri (1º ciclo e 2º ciclo).

Tratamento	Dose	PMS 1º ciclo	PMS 2º ciclo
	%	g.vaso ⁻¹	g.vaso ⁻¹
T1	0	7,94 ^{ns}	25,82 ^{ns}
T2	25	7,00 ^{ns}	20,40 ^{ns}
T3	50	7,16 ^{ns}	26,93 ^{ns}
T4	75	7,30 ^{ns}	25,88 ^{ns}
T5	100	7,11 ^{ns}	26,82 ^{ns}
T6	125	7,34 ^{ns}	26,64 ^{ns}
T7	150	8,18 ^{ns}	28,05 ^{ns}
T8	175	7,59 ^{ns}	31,72 ^{ns}
T9	200	7,77 ^{ns}	28,06 ^{ns}
CV (%)		14,29	18,61

Teste de média de *Tukey* ($p < 0,05$) dos parâmetros mensurados pela análise química. ns indica que não há diferença significativa pela análise de variância.

No estudo de regressão observou-se um aumento linear no 1º ciclo ($y = 7,22 + 0,0524x$; $R=0,13$; $p=0,46$) e 2º ciclo ($y = 22,9 + 0,765x$; $R=0,4$; $p=0,015$) para a produção de matéria seca em função ao aumento das doses aplicadas. Verificou-se que a menor dose aplicada de silicato de magnésio (T1) foi o suficiente para obter produção de massa seca da parte aérea e incrementos de macro e micronutrientes dentro da faixa adequada estabelecida para o capim BRS Zuri (Tabela 15).

Santana et al. (2010) em experimento desenvolvido com capim braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf) em solo corrigido com diferentes doses de calcário e escória silicatada, avaliaram a composição química do solo e a matéria seca. Ambos os corretivos proporcionaram ao solo efeito positivo em relação ao pH. A produção de matéria seca não foi influenciada pelos tipos e doses de corretivos no solo.

Para Reis et al. (2013), o aumento da produção pode ser explicado pela correção da acidez do solo, promovido pela ação do íon silicato e aumento da disponibilidade de Ca e Mg para a cultura, melhorando as condições químicas do solo. No estudo feito com cana-de-açúcar, o silicato adicionado ao solo favoreceu o aumento do pH, Ca, Mg, Fe, Mn e diminuiu os teores de (H+Al), MO, Zn, Cu e Si.

Os resultados mostram que para os teores foliares analisados ao fim do 1º ciclo não houve diferença estatística entre os tratamentos, na aplicação de Agrosilício Mg (Tabela 15). Pelos resultados da análise química do tecido foliar após o 2º ciclo, nota-se que o Ca, Mg e Zn apresentaram efeito em relação ao tratamento controle, para os demais nutrientes não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 15).

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que todos os elementos apresentaram teores foliares considerados adequados para o capim BRS Zuri, de acordo com Ribeiro et al. 1999. Este resultado era esperado, uma vez que o produto possui registro junto ao MAPA como fertilizante multinutriente de alta eficiência agrônômica.

Tabela 15: Teores médios dos nutrientes da parte aérea da planta em função do aumento da dose do Agrosilício Mg (1º ciclo e 2º ciclo).

1º Ciclo												
Tratamento	Dose	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	%	g/kg						mg/kg				
T1	0	34,12 ^{ns}	2,36 ^{ns}	33,60 ^{ns}	4,20 ^{ns}	3,90 ^{ns}	1,55 ^{ns}	10,00 ^{ns}	162,00 ^{ns}	41,75 ^{ns}	224,00 ^{ns}	41,00 ^{ns}
T2	25	34,82 ^{ns}	2,34 ^{ns}	31,10 ^{ns}	3,92 ^{ns}	3,98 ^{ns}	1,50 ^{ns}	10,50 ^{ns}	211,00 ^{ns}	46,75 ^{ns}	203,00 ^{ns}	58,25 ^{ns}
T3	50	35,35 ^{ns}	2,38 ^{ns}	33,70 ^{ns}	3,88 ^{ns}	3,79 ^{ns}	1,55 ^{ns}	10,00 ^{ns}	137,00 ^{ns}	38,00 ^{ns}	208,50 ^{ns}	54,50 ^{ns}
T4	75	35,35 ^{ns}	2,38 ^{ns}	31,97 ^{ns}	4,25 ^{ns}	4,17 ^{ns}	1,70 ^{ns}	9,50 ^{ns}	141,00 ^{ns}	36,25 ^{ns}	189,50 ^{ns}	42,25 ^{ns}
T5	100	34,65 ^{ns}	2,34 ^{ns}	32,60 ^{ns}	4,05 ^{ns}	3,75 ^{ns}	1,53 ^{ns}	10,00 ^{ns}	135,00 ^{ns}	35,50 ^{ns}	182,00 ^{ns}	49,00 ^{ns}
T6	125	35,00 ^{ns}	2,35 ^{ns}	31,57 ^{ns}	4,03 ^{ns}	3,93 ^{ns}	1,65 ^{ns}	11,00 ^{ns}	150,00 ^{ns}	36,00 ^{ns}	207,00 ^{ns}	51,75 ^{ns}
T7	150	33,95 ^{ns}	2,36 ^{ns}	31,55 ^{ns}	4,38 ^{ns}	4,34 ^{ns}	1,40 ^{ns}	11,00 ^{ns}	190,00 ^{ns}	38,00 ^{ns}	217,00 ^{ns}	57,00 ^{ns}
T8	175	33,25 ^{ns}	2,34 ^{ns}	32,75 ^{ns}	4,33 ^{ns}	4,46 ^{ns}	1,60 ^{ns}	9,50 ^{ns}	141,00 ^{ns}	35,50 ^{ns}	203,50 ^{ns}	45,25 ^{ns}
T9	200	34,65 ^{ns}	2,34 ^{ns}	33,43 ^{ns}	4,80 ^{ns}	4,97 ^{ns}	1,55 ^{ns}	10,50 ^{ns}	187,00 ^{ns}	36,75 ^{ns}	203,50 ^{ns}	53,75 ^{ns}
CV (%)		5,42	1,57	13,58	11,18	15,98	10,78	11,24	36,28	15,57	11,43	22,03

2º Ciclo												
Tratamento	Dose	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	%	g/kg						mg/kg				
T1	0	35,00 ^{ns}	2,31 ^{ns}	11,33 ^{ns}	4,40 ^b	4,35 ^{ab}	2,00 ^{ns}	14,00 ^{ns}	207,00 ^{ns}	92,75 ^a	376,50 ^{ns}	26,00 ^{ns}
T2	25	36,40 ^{ns}	2,32 ^{ns}	16,80 ^{ns}	4,95 ^{ab}	3,99 ^b	2,05 ^{ns}	15,00 ^{ns}	192,00 ^{ns}	92,50 ^{ab}	380,50 ^{ns}	31,25 ^{ns}
T3	50	33,95 ^{ns}	2,32 ^{ns}	13,03 ^{ns}	4,85 ^{ab}	4,38 ^{ab}	1,85 ^{ns}	13,50 ^{ns}	187,00 ^{ns}	84,50 ^{abc}	332,00 ^{ns}	27,50 ^{ns}
T4	75	33,60 ^{ns}	2,30 ^{ns}	12,35 ^{ns}	5,05 ^{ab}	5,15 ^{ab}	1,90 ^{ns}	14,00 ^{ns}	226,00 ^{ns}	80,25 ^{abc}	375,00 ^{ns}	34,75 ^{ns}
T5	100	34,30 ^{ns}	2,32 ^{ns}	13,33 ^{ns}	5,60 ^{ab}	5,78 ^{ab}	2,03 ^{ns}	15,50 ^{ns}	161,00 ^{ns}	71,50 ^{abc}	360,50 ^{ns}	32,75 ^{ns}
T6	125	32,03 ^{ns}	2,31 ^{ns}	12,00 ^{ns}	5,48 ^{ab}	5,54 ^{ab}	1,80 ^{ns}	12,50 ^{ns}	144,00 ^{ns}	64,25 ^c	327,00 ^{ns}	21,50 ^{ns}
T7	150	31,85 ^{ns}	2,34 ^{ns}	11,83 ^{ns}	6,28 ^a	6,15 ^{ab}	2,13 ^{ns}	13,50 ^{ns}	181,00 ^{ns}	69,00 ^{bc}	385,50 ^{ns}	34,50 ^{ns}
T8	175	32,03 ^{ns}	2,27 ^{ns}	12,85 ^{ns}	6,03 ^{ab}	6,54 ^a	1,93 ^{ns}	13,50 ^{ns}	169,00 ^{ns}	66,75 ^c	339,50 ^{ns}	32,75 ^{ns}
T9	200	32,90 ^{ns}	2,25 ^{ns}	12,35 ^{ns}	5,88 ^{ab}	6,36 ^a	1,90 ^{ns}	13,00 ^{ns}	189,00 ^{ns}	66,00 ^c	337,50 ^{ns}	21,75 ^{ns}
CV (%)		8,24	4,28	26,43	16,91	22,45	10,13	11,66	26,83	17,97	15,23	30,42

Teste de média de *Tukey* ($p < 0,05$) dos parâmetros mensurados pela análise química. Médias com diferentes letras se diferenciam estatisticamente uma da outra, e ns indicam que não há diferença significativa pela análise de variância.

Observa-se que houve resposta linear e crescente no aumento dos teores foliares dos macronutrientes Ca e Mg, em função das doses aplicadas do Agrosilício Mg. Os teores foliares do Ca, para a maioria dos tratamentos, encontram-se muito próximos a faixa adequada para a cultura (4,0 - 10,2 g.kg⁻¹). Para o Mg, em todos os tratamentos, o teor foliar está adequado para a cultura da gramínea forrageira (Figura 6).

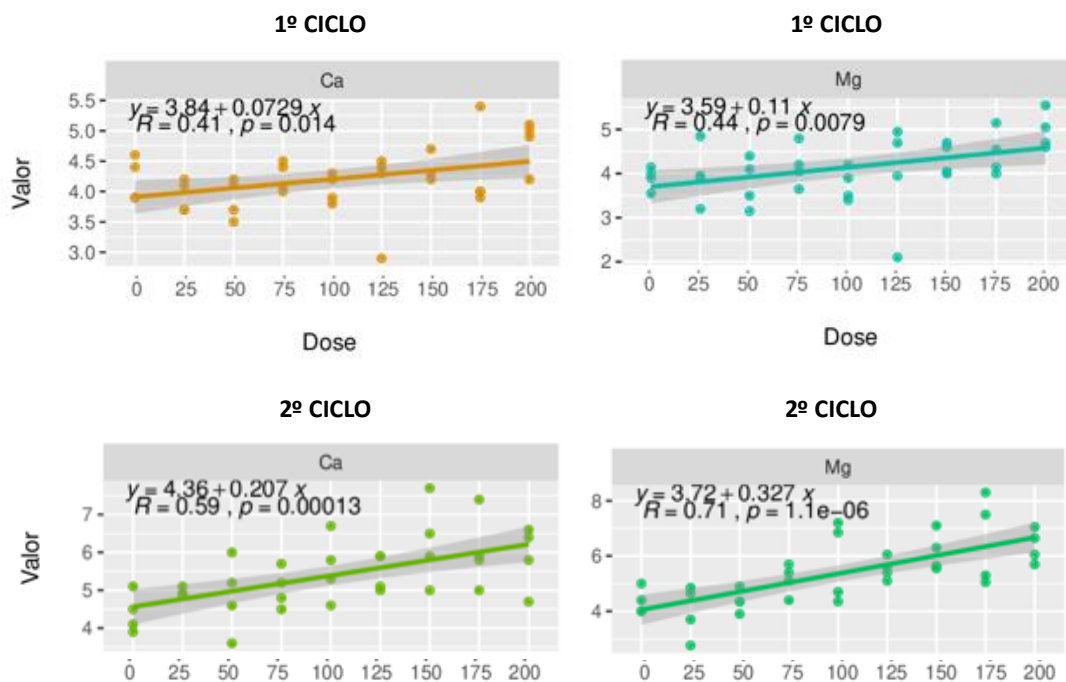


Figura 6. Efeito das doses do Agrosilício Mg sobre o teor dos macronutrientes Ca e Mg na parte aérea das plantas.

Foi observado efeito positivo sobre a concentração foliar de Ca e Mg sobre as folhas da gramínea, sendo tal efeito positivo, com incremento na concentração de Ca foliar até o valor de 6,28 g/kg em função da aplicação de 150% da dose e para o teor foliar de Mg, com incremento foliar de até 6,54 g/kg em função da aplicação de 175% da dose.

Os teores de Cu, Fe e B também apresentaram um comportamento crescente e linear em função do aumento da dose do Agrosilício Mg, semelhante aos macronutrientes Ca e Mg (1º Ciclo). Para os demais elementos analisados N, P, K, S, Cu, Fe, Zn, Mn e B, os teores foliares decrescem com o aumento da dose aplicada (2º Ciclo), entretanto, os valores continuam satisfatórios e acima da faixa adequada para a cultura. Esse decréscimo no fornecimento de nutrientes pode-se atribuir a supercalagem quando o valor do pH do solo ultrapassa a faixa ideal para a absorção dos nutrientes em quantidade adequada para as plantas. Nesta situação haverá indisponibilização de uma série de macro e micronutrientes. O desdobramento estatístico de todos os elementos analisados e suas respectivas equações de regressão, segue no Apêndice C e D.

Silva et al. (2006) avaliaram os efeitos da supercalagem e seus sintomas na cultura de milho. Um dos problemas observados na supercalagem é a interação existente entre o Ca, Mg e o K, sendo que o excesso dos dois primeiros resultará em deficiência do último.

O acúmulo de nutrientes mostrou-se ter uma relação direta com a produção de matéria seca, os resultados de nutrientes acumulados foram maiores no 2º ciclo. O resultado era esperado, visto que a produtividade do capim BRS Zuri foi maior após o segundo corte. O acúmulo de todos os macros e micronutrientes após o 1º e 2º ciclo estão na Tabela 16.

O acúmulo dos nutrientes após o 1º ciclo não apresentou diferença estatística entre os tratamentos. Já o resultado após o 2º ciclo, nota-se diferença entre os tratamentos, no acúmulo de Mg na parte aérea da planta (Tabela 16).

Tabela 16. Acúmulo dos nutrientes da parte aérea da planta em função do aumento da dose do Agrosilício Mg (1º ciclo e 2º ciclo).

Tratamento	Dose	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	%	g. vaso ⁻¹						mg. vaso ⁻¹				
T1	0	269,4 ^{ns}	18,8 ^{ns}	268,1 ^{ns}	33,6 ^{ns ns}	31,0 ^{ns}	12,5 ^{ns}	79,4 ^{ns}	1277,4 ^{ns}	337,3 ^{ns}	1829,4 ^{ns}	328,5 ^{ns}
T2	25	243,5 ^{ns}	16,4 ^{ns}	217,0 ^{ns}	27,5 ^{ns}	27,6 ^{ns}	10,5 ^{ns}	73,0 ^{ns}	1530,3 ^{ns}	333,8 ^{ns}	1427,3 ^{ns}	407,3 ^{ns}
T3	50	251,2 ^{ns}	17,0 ^{ns}	241,1 ^{ns}	27,9V	27,4 ^{ns}	11,1 ^{ns}	71,2 ^{ns}	982,7 ^{ns}	270,0 ^{ns}	1482,2 ^{ns}	395,3 ^{ns}
T4	75	257,1 ^{ns}	17,3 ^{ns}	235,9 ^{ns}	31,1 ^{ns}	30,3 ^{ns}	12,4 ^{ns}	68,9 ^{ns}	1026,1 ^{ns}	264,5 ^{ns}	1390,7 ^{ns}	303,3 ^{ns}
T5	100	246,1 ^{ns}	16,6 ^{ns}	232,4 ^{ns}	28,7 ^{ns}	26,6 ^{ns}	10,8 ^{ns}	70,7 ^{ns}	954,9 ^{ns}	251,6 ^{ns}	1292,9 ^{ns}	348,1 ^{ns}
T6	125	253,8 ^{ns}	17,2 ^{ns}	234,4 ^{ns}	29,1 ^{ns}	27,6 ^{ns}	12,2 ^{ns}	79,3 ^{ns}	1099,2 ^{ns}	267,2 ^{ns}	1539,2 ^{ns}	374,1 ^{ns}
T7	150	275,1 ^{ns}	19,3 ^{ns}	262,3 ^{ns}	35,7 ^{ns}	35,4 ^{ns}	11,4 ^{ns}	89,3 ^{ns}	1473,6 ^{ns}	312,7 ^{ns}	1774,6 ^{ns}	461,0 ^{ns}
T8	175	252,4 ^{ns}	17,8 ^{ns}	2501 ^{ns}	32,6 ^{ns}	33,7 ^{ns}	12,1 ^{ns}	72,1 ^{ns}	1063,4 ^{ns}	270,3 ^{ns}	1542,9 ^{ns}	342,4 ^{ns}
T9	200	268,9 ^{ns}	18,1 ^{ns}	260,8 ^{ns}	37,3 ^{ns}	38,6 ^{ns}	12,1 ^{ns}	81,7 ^{ns}	1466,4 ^{ns}	286,1 ^{ns}	1586,1 ^{ns}	419,2 ^{ns}
CV (%)		11,16	14,63	22,96	18,89	19,94	18,33	15,39	39,25	23,92	22,76	25,06

2 Ciclo												
Tratamento	Dose	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	%	g. vaso ⁻¹						mg. vaso ⁻¹				
T1	0	900,66 ^{ns}	59,54 ^{ns}	291,99 ^{ns}	114,02 ^{ns}	112,46 ^{ab}	51,55 ^{ns}	360,14 ^{ns}	5344,44 ^{ns}	2385,86 ^{ns}	9772,03 ^{ns}	677,77 ^{ns}
T2	25	736,09 ^{ns}	47,71 ^{ns}	272,69 ^{ns}	101,19 ^{ns}	87,26 ^b	39,30 ^{ns}	289,34 ^{ns}	3522,12 ^{ns}	1798,37 ^{ns}	7345,52 ^{ns}	681,01 ^{ns}
T3	50	915,30 ^{ns}	62,51 ^{ns}	348,62 ^{ns}	131,52 ^{ns}	117,57 ^{ab}	49,73 ^{ns}	363,56 ^{ns}	5026,19 ^{ns}	2266,47 ^{ns}	8948,46 ^{ns}	731,36 ^{ns}
T4	75	868,61 ^v	59,61 ^{ns}	316,38 ^{ns}	129,85 ^{ns}	132,60 ^{ab}	49,02 ^{ns}	360,33 ^{ns}	5725,38 ^{ns}	2085,39 ^{ns}	9716,91 ^{ns}	915,16 ^{ns}
T5	100	923,38 ^{ns}	62,04 ^{ns}	356,75 ^{ns}	150,53 ^{ns}	154,44 ^{ab}	54,23 ^{ns}	416,60 ^{ns}	4279,43 ^{ns}	1901,91 ^{ns}	9618,12 ^{ns}	861,17 ^{ns}
T6	125	850,7 ^{ns}	61,39 ^{ns}	320,06 ^{ns}	145,75 ^{ns}	147,49 ^{ab}	48,01 ^{ns}	332,64 ^{ns}	3814,50 ^{ns}	1705,32 ^{ns}	8684,71 ^{ns}	570,78 ^{ns}
T7	150	890,14 ^{ns}	65,68 ^{ns}	330,05 ^{ns}	177,67 ^{ns}	173,58 ^{ab}	59,53 ^{ns}	377,91 ^{ns}	5036,76 ^{ns}	1934,75 ^{ns}	10896,41 ^{ns}	969,50 ^{ns}
T8	175	101,37 ^{ns}	71,9 ^{ns}	415,10 ^{ns}	195,45 ^{ns}	213,26 ^a	61,48 ^{ns}	430,79 ^{ns}	5402,68 ^{ns}	2093,85 ^{ns}	11040,32 ^{ns}	1054,96 ^{ns}
T9	200	927,49 ^{ns}	63,18 ^{ns}	346,29 ^{ns}	166,37 ^{ns}	179,21 ^{ab}	53,21 ^{ns}	363,70 ^{ns}	5338,53 ^{ns}	1850,95 ^{ns}	9510,13 ^{ns}	621,62 ^{ns}
CV (%)		18,84	19,04	21,87	31,36	35,7	20,38	20,01	28,79	19,56	25,45	38,56

Teste de média de *Tukey* ($p < 0,05$) dos parâmetros mensurados pela análise química. Médias com diferentes letras se diferenciam estatisticamente uma da outra, e ns indicam que não há diferença significativa pela análise de variância.

Apesar da diferença acumulada de nutrientes foliares entre os ciclos, esses incrementos não afetaram o desenvolvimento da gramínea forrageira. Em ambos os ciclos, houve incremento dos elementos necessários para que a planta se desenvolva-se de maneira adequada. O fertilizante Agrosilício Mg, à base de escória de siderurgia, forneceu nutrientes as plantas.

Segundo Stocco et al. (2014), as escórias de siderurgia alteram positivamente as características químicas do solo e disponibilizam nutrientes para as plantas. Em estudo feito com *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, avaliou-se o uso de escórias de siderurgia sobre a nutrição mineral das gramíneas. A escória possibilitou melhorias resultados positivos sobre a nutrição das gramíneas, proporcionou incremento dos teores de N, P e K na parte aérea de ambas as gramíneas.

Deus et al. (2014) relatam que a aplicação de escórias, sobre plantas de alfafa, proporcionou ação corretiva do solo com aumento do pH, com consequente maior acúmulo dos nutrientes Ca, P, e Si nas plantas, favorecendo a produção de matéria seca. Corroboram com estes resultados a pesquisa de Avalhães (2010), que verificou o potencial agrícola da escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo, por meio de análises químicas do solo e das plantas, na cultura da cana-de-açúcar, em um Latossolo Vermelho distrófico. A escória de siderurgia mostra-se semelhante ao calcário na elevação do pH do solo e influenciou a nutrição da cultura, afetando os teores foliares, especialmente dos nutrientes Ca, Mn e Zn.

3.5 Conclusão

- A aplicação do Agrosilício Plus foi eficiente na correção da acidez do solo, alterando o pH em relação a análise química inicial do solo.
- Verificou-se que para 100% da dose, o Agrosilício Mg proporciona melhor equilíbrio nutricional e garante os teores de nutrientes dentro da faixa adequada para a cultura.
- O Agrosilício Mg apresenta potencial uso como fertilizante multinutriente para o capim BRS Zuri.

4. RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Com o intuito de contribuir para trabalhos futuros, seguem algumas recomendações:

- Para fundamentar o uso agrícola de fertilizantes a base de escórias de siderurgia, como o Agrosilício Plus e Agrosilício Mg, faz-se necessário analisar o potencial quanto a liberação de metais potencialmente tóxicos no solo e na planta.
- Propõe-se detalhar as informações a cerca da produtividade de gramíneas forrageiras, com medidas de altura e número de perfilhos. Uma vez que podem ser parâmetro para as análises de crescimento e/ou desenvolvimento.
- Recomenda-se aumentar o número de repetições e reduzir os tratamentos, apostando naqueles que se demonstraram mais promissores nesta pesquisa.
- Propõe-se realizar experimentos apenas com o Agrosilício Mg aplicado sobre o solo.
- Avaliação da eficiência agronômica das escórias silicatadas, sobre forrageiras, em experimentos desenvolvidos no campo.
- Realizar experimentos em coluna, dessa forma é possível compreender os parâmetros químicos do solo para diferentes profundidades.
- Fazer análise econômica do Agrosilício x Calcário.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. A.; ABREU, M. F.; BERTON, R. S. Análise química de solo para metais pesados. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. (Org.). Tópicos em Ciência do Solo. 1 ed. Viçosa: *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, v. 2, p. 645-692, 2002.

ALCARDE, J. A.; RODELLA, A. A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R.G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ V., V. H., eds. *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.291-334, 2003.

ALMEIDA, M. C. C.; L. CHIARI, L.; JANK, L.; VALLE, C. B. Diversidade genética molecular entre cultivares e híbridos de *Brachiaria* spp. e *Panicum maximum*. *Ciência Rural*, v. 41, n. 11, 2011.

AMARAL, A. S.; DEFELIPO, B. V.; COSTA, L. M.; FONTES, M. P. F. Liberação de Zn, Fe, Mn e Cd de quatro corretivos da acidez e absorção por alface em dois solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 29, n. 4, p. 1351-1358, 1994.

AVALHÃES, C.C. Escória de siderurgia na cultura da cana-planta: efeitos no solo, na nutrição e na produtividade. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal 2010.

CAETANO, L. C. S.; PREZOTTI, L. C.; PACHECO, B. M.; GUARÇONI, R. C. Soil chemical characteristics, biomass production and levels of nutrient and heavy metals in corn plants according to doses of steel slag and limestone. *Revista Ceres*, v. 63, n. 6, p. 879-886, 2016.

CHAVES, L.H.G.; FARIAS, C.H.A. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo e na disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo. *Revista Caatinga*, v. 21, n. 5, p. 75-82, 2008.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas. *Campinas, Instituto Agronômico*, 77 p, 2009. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada).

CARMO, C. A. F. S.; ARAÚJO, W. S. de; BERNARDI, A. C. de C.; SALDANHA, M. F. C. *Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos*. Embrapa Solos. Rio de Janeiro. Circular Técnica, n.6, 41p. 2000.

DEUS, A. C. F.; BULL, L. T.; CORREA, J. C.; VILLAS BOAS, R. L. Nutrient accumulation and biomass production of alfafa after soil amendment with silicates. *Revista Ceres*, v. 61, n. 3, p. 406-413, 2014.

EMBRAPA. Adubação silicatada em cana-de-açúcar. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 46 p, 2011.

EMBRAPA. *BRS Zuri, produção e resistência para a pecuária*. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/984985/brs-zuri-panicum-maximum-brs-zuri-producao-e-resistencia-para-a-pecuaria>>. Acesso em: 05 fev. de 2019.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Levantamento de média intensidade dos solos e avaliação de aptidão agrícola das terras do triângulo mineiro*. Rio de Janeiro, 526 p (Boletim Técnico, 1), 1982.

EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 3aed. Revisada e ampliada. Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. p. 353, 2013.

FREIRE, L. R. (Coord.). *Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro*. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica: Universidade Rural, 430 p, 2013.

FONSECA, D. M.; SANTOS, M. E. R.; MARTUSCELLO, J. A. Importância das forrageiras no sistema de produção. In: FONSECA, D.M.; MARTUSCELLO, J.A. (Eds) *Plantas forrageiras*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1.ed., v.1, p.13-2, 2010.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, N. Cultivo hidropônico de plantas. *Campinas: Instituto Agrônomo, Documentos IAC*. 52p,1999.

GUIMARAES JUNIOR, M. P. A.; SANTOS, A. C.; ARAÚJO, A. S.; OLIVEIRA, L. B. T.; RODRIGUES, M. O. D.; MARTINS, A. D. Relação Ca: Mg do corretivo da acidez do solo e as características agrônômicas de plantas forrageiras. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, Salvador, v. 14, n. 3, p. 460-471, set. 2013.

HAYNES, R. J. A contemporary overview of silicon availability in agricultural soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 177, n. 6, p. 831-844, 2014.

INSTITUTO AÇO BRASIL. *Relatório de Sustentabilidade 2018*. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/sustentabilidade/>>. Acesso em: 07 mar. 2019.

JANK, L.; SANTOS, M. F.; VALLE, C. B.; BARRIOS, S.C.; SIMEÃO, R. Novas alternativas de cultivares de forrageiras e melhoramento para a sustentabilidade da pecuária. In *Embrapa Gado de Corte-Resumo em anais de congresso (ALICE)*. In: SIMPÓSIO DE ADUBAÇÃO. MANEJO DE PASTAGENS, 4.; SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO ANIMAL A PASTO, 4. Dracena. Sustentabilidade do sistema produtivo. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2017.

KORNDÖRFER, G. H., PEREIRA, H. S., NOLLA, A. *Análise de silício no solo, planta e fertilizante*. Uberlândia: GPSi, (Boletim Técnico nº 02), 50p, 2004.

KORNDÖRFER, P. H.; SILVA, G. C.; TEIXEIRA, I. R.; SILVA, A. G.; FREITAS, R. S. D. Efeito da adubação silicatada sobre gramíneas forrageiras e características químicas do solo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 119-125, 2010.

LEITE, G. M. V.; ANDRADE, L. D. B.; GARCIA, J. C.; ANJOS, I. D. Efeito de fontes e doses de silicato de cálcio no rendimento agrícola e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar cultivar SP80 1816. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 32, n. 4, p. 1120-1125, 2008.

LOPES, M.C; CONTINI, E. *Agricultura, sustentabilidade e tecnologia. Especial*. Embrapa. Agroanalysis 2012.

LOPES, M. N.; LACERDA, C. F.; CANDIDO, M. J. D.; POMPEU, R. C. F. F.; SILVA, R. G.; LOPES, J. W. B.; FERNANDES, F. R. B.; BEZERRA, F. M. L. Gas exchange in massai grass under five nitrogen fertilization levels during establishment and regrowth. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 9, p. 1862– 1869, 2011.

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plant. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H., eds. *Silicon in agriculture*. Amsterdam. *Elsevier*, p.17-39, 2001.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. *Cellular and molecular life sciences*, v. 65, n. 19, p. 3049-3057, 2008.

MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 638p, 2006.

MALAVOLTA, E. *Manual de química agrícola: adubos e adubação*. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 596 p, 1981.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas*. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 201p, 1989.

MELO, B. M. R.; SARTORI, R. H. Avaliação da escória de siderurgia e do calcário como corretivos para cultura cafeeira. *Revista Agrogeoambiental*, v. 5, n. 1, 2013.

MELO, S. P.; KORNDÖRFER, G. H.; KORNDÖRFER, C. M.; LANA, R. M. Q.; SANTANA, D. G. Silicon accumulation and water deficit tolerance in brachiaria grass. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 60, n. 4, p. 755- 759, 2003.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos*. Brasília: MAPA/SDA/CGAL, 220p, 2014.

MARAFON, A. C.; ENDRES, L. Adubação silicatada em cana-de-açúcar. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011.

MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C. A. C.; CORREA, J. C. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, p. 867-873, 2003.

MEURER, E. J. *Fundamentos de química do solo*. 4 ed. Porto Alegre: Evangraf, p. 275, 2012.

MOREIRA, L. L.Q. ALTERAÇÕES NO SISTEMA SOLO-PLANTA EM RESPOSTA A FONTES E MODOS DE APLICAÇÃO DE CORRETIVOS DE ACIDEZ EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA. Tese de doutorado. Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, 2017.

PREZOTTI, L. C.; MARTINS, A.G. Efeito da escória de siderurgia na química do solo e na absorção de nutrientes e metais pesados pela cana-de-açúcar. *Revista Ceres*, v. 59, n.4, p. 530-536, 2012.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; COUTINHO, E. L. M.; ROQUE, C. G.; VILLAR, M. L. P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.4, p.539-546, 2002.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.287-296, 2003.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vasos. *Scientia Agrícola*, v. 57, n.4, p.739-744, 2000a.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo, e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. *Scientia agrícola*, v. 59, n. 1, p. 129-135, 2002.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba, *Ceres*, POTAFOS, p.343,1991.

RAIJ, B. Van. *Fertilidade do solo e manejo de nutrientes*. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 420 p., 2011.

REIS, J.J.D.; ALOVISI, A.M.T.; FERREIRA, J.A.A.; ALOVISI, A, A.; GOMES, C.F. Attributes of chemical soil and production of sugar cane in response to calcium silicate. *Revista de Ciências Agrárias*, Lisboa, v.36, n.1, p. 3-9, jan. 2013.

REIS, T. H. P.; FIGUEIREDO, F. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; BOTREL, P. P.; RODRIGUES, C. R. Efeito da associação silício líquido solúvel com fungicida no controle fitossanitário do cafeeiro. *Coffee Science*, Lavras, v. 3, n. 1, p. 76-80, jan./jun, 2008.

RIBEIRO, A.C; GUIMARÃES, P.T.G; ALVAREZ, V.G. *Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais*. Editora: Sbc,1999.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. *Embrapa Monitoramento por Satélite*. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8, Campinas, 2010.

SANCHES, A.B. EFEITOS DO SILICATO DE CÁLCIO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E PLANTA, PRODUÇÃO E QUALIDADE EM CAPIM - BRAQUIARÃO [*Brachiaria brizantha* (Hoechst ex A. Rich.) Stapf. cv. MARANDU] SOB INTENSIDADES DE PASTEJO. Dissertação (Mestrado) -- Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2003

SANTANA, G. S.; BIANCHI, P. P. M.; MORITA, I. M.; ISEPON, O. J.; FERNANDES, F. M. Produção e composição bromatológica da forragem do capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq.), submetidos a diferentes fontes e doses de corretivo de acidez. *Semina: Ciências Agrárias*, p. 241-246, 2010.

SANTO, M.E.R. *Adubação de Pastagens: Possibilidades de Utilização*. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.11; 2010.

SARTO, M. V. M.; CARMO LANA, M.; RAMPIM, L.; ROSSET, J. S.; SARTO, J. R. W.; BASSEGIO, D. Effects of calcium and magnesium silicate on the absorption of silicon and nutrients in wheat. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 40, n. 1, p. 67-80, 2019.

SÁVIO, F. L.; CARNEIRO DA SILVA, G.; TEIXEIRA, I. R.; BORÉM, A. Produção de biomassa e conteúdo de silício em gramíneas forrageiras sob diferentes fontes de silicato. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 32, n. 1, 2011.

SILVIA, P. A.; RIGATO, L. I.; L.L.; POLESSA, M. F.; SATHER, M.; NETO, R. B.; PASSOS, J.L.; SOUZA, C. M.; SANTOS.J.N.B.; AMARAL, J. A, T. ESTUDO MINERAL DE UMA SUPERCALAGEM NO MILHO. IX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e V Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2006.

SOBRAL, M. F.; NASCIMENTO, C. W.; CUNHA, K. P.; FERREIRA, H. A.; SILVA, A. J.; SILVA, F. B. Escória de siderurgia e seus efeitos nos teores de nutrientes e metais pesados em cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 8, p. 867-873, 2011.

STOCCO, F.C; PASSOS, R.R.; ANDRADE, F.V.; MESQUITA, L. F. Escórias de siderurgia na nutrição de gramíneas cultivadas em latossolo vermelho-amarelo. *Bioscience Journal*, v. 30, n. 4, 2014.

STOCCO, F.C; PASSOS, R.R.; ANDRADE, F.V; REIS, E.F; LIMA, J. S.S; SANTOS, D. A; MACHADO, R.V. *Uso de escórias de siderurgia na produção de matéria seca e perfilhamento de duas gramíneas do gênero Brachiaria em um latossolo vermelho amarelo*. *Bioscience Journal*, v. 26, n. 02, p. 240-248, 2010.

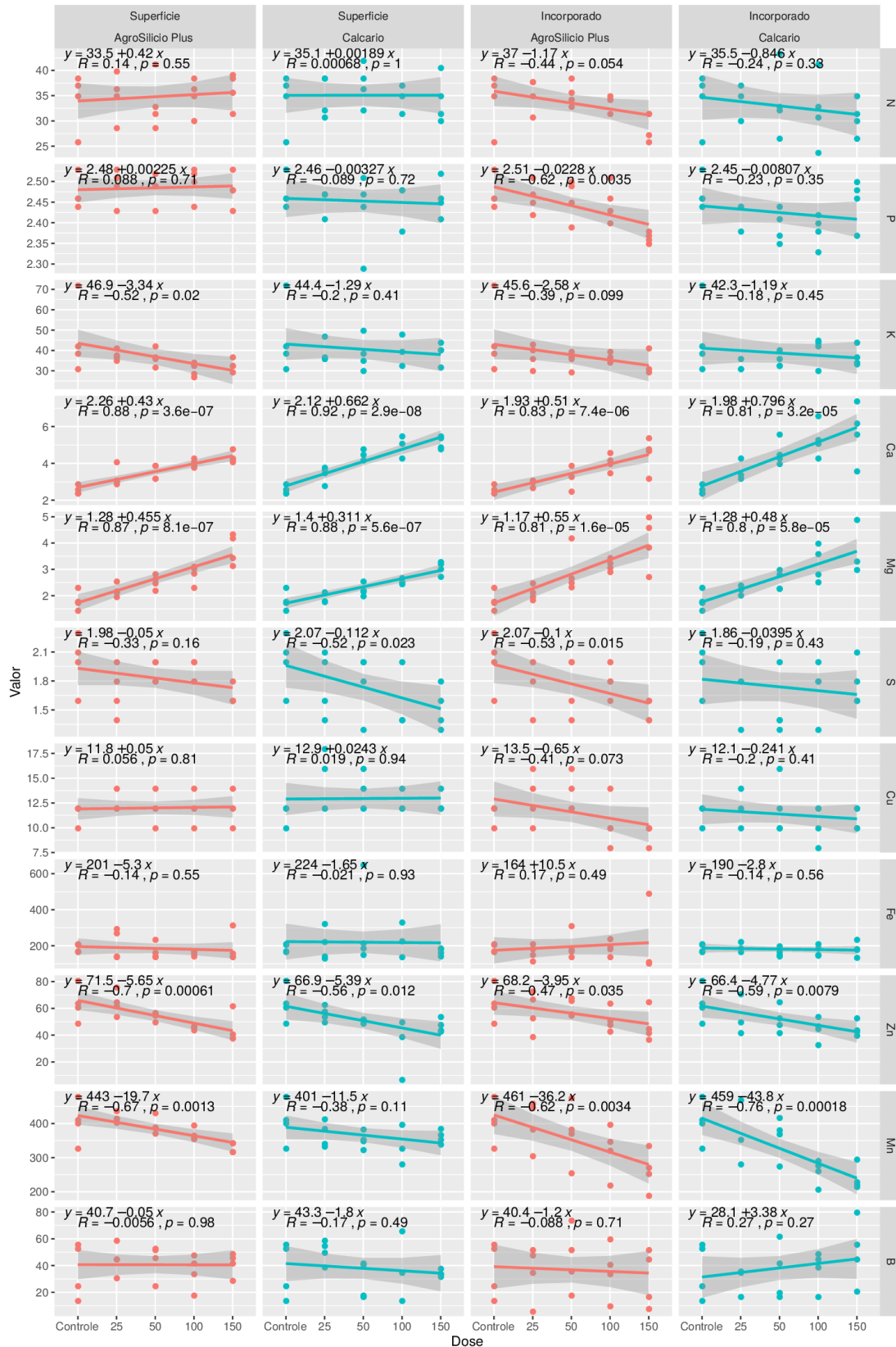
TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G, K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.) *Manual de Métodos de Análise de Solo*, 3. ed. rev. e ampl., Brasília, DF: Embrapa, 2017.

WUANA, R. A.; OKIEIMEN, F, E. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *Isrn Ecology*, v. 2011, 2011.

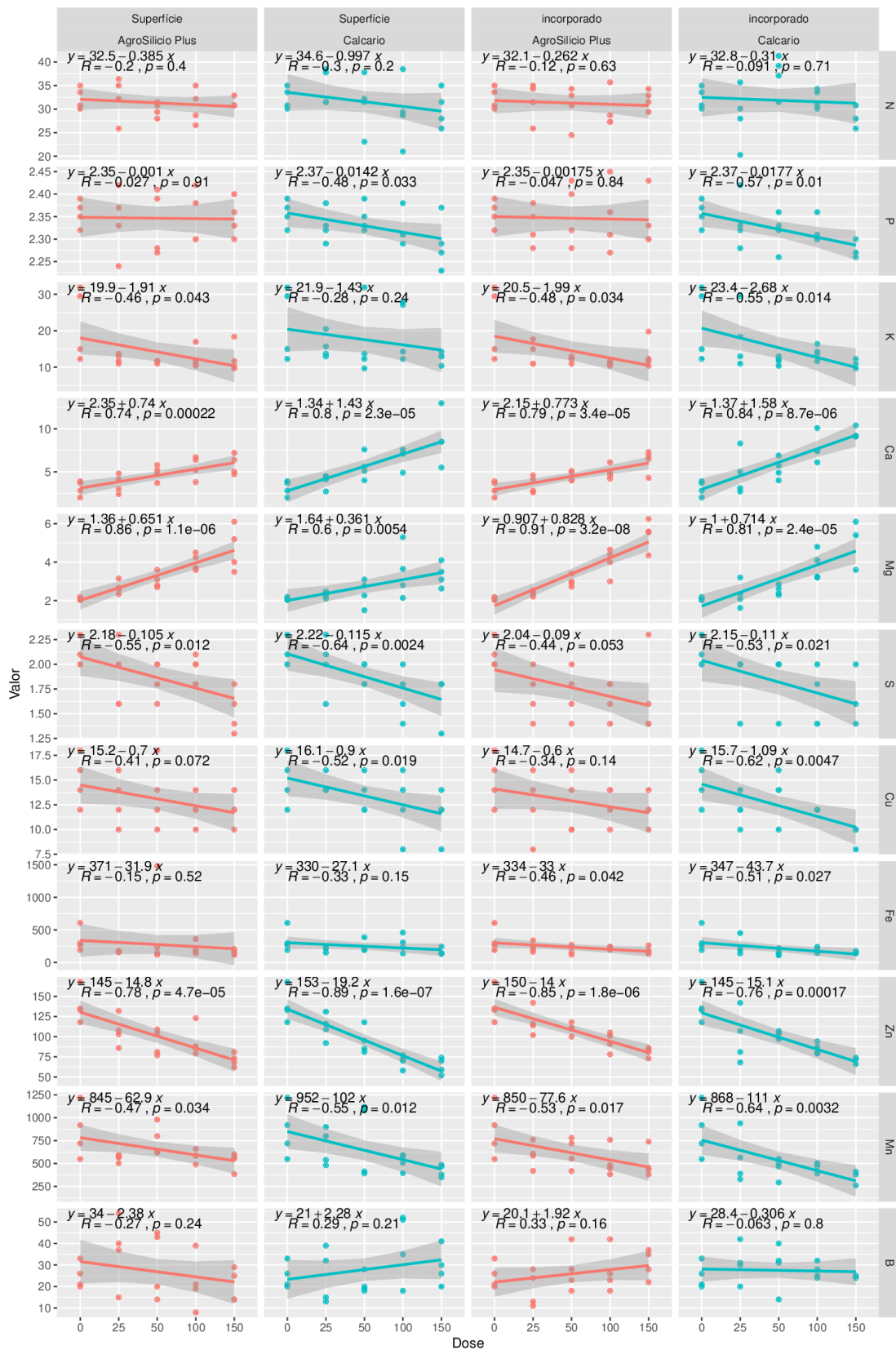
YAN, G. C.; NIKOLIC, M.; YE, M. J.; XIAO, Z. X.; LIANG, Y. C. Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, v. 17, n. 10, p. 2138-2150, 2018.

6. APÊNDICE

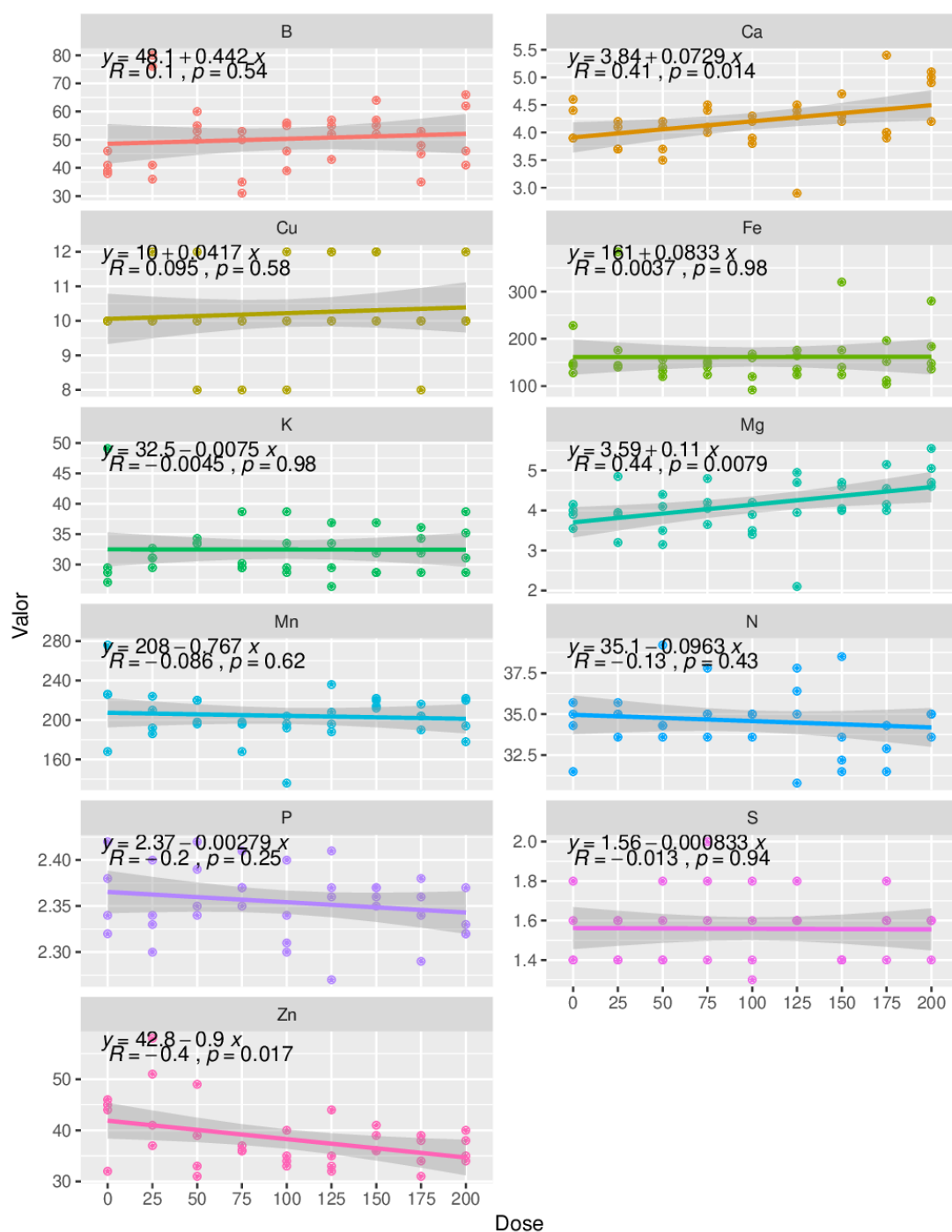
APÊNDICE A: Desdobramento estatístico completo dos nutrientes do 1º ciclo (Capítulo I).



APÊNDICE B: Desdobramento estatístico completo dos nutrientes do 2º ciclo (Capítulo I).



APÊNDICE C: Desdobramento estatístico completo dos nutrientes do 1º ciclo (Capítulo II).



APÊNDICE D: Desdobramento estatístico completo dos nutrientes do 2º ciclo (Capítulo II).

